

# Angewandte Geowissenschaften an der GBA

19.-22. Juni 2017: Bad Ischl, Hallstatt, Gmunden







Tagungsthema:

## Angewandte Geowissenschaften an der GBA

19.–22. Juni 2017 Bad Ischl, Hallstatt, Gmunden

Redaktion: Ingeborg Wimmer-Frey Alexander Römer Christoph Janda



#### Titelbild:

Gschliefgraben und Traunsee, Blick vom Grünberg nach Süden (Foto: R. Supper).

#### **Rückseite:**

Wappen von Bad Ischl, Hallstatt, Gmunden.

#### Zitiervorschlag:

Gesamtwerk: WIMMER-FREY, I., RÖMER, A. & JANDA, C. (Red.) (2017): Arbeitstagung 2017 – Angewandte Geowissenschaften an der GBA, 19.–22. Juni 2017, Bad Ischl, Hallstatt, Gmunden, 344 S., Wien.

Artikel:

MELZNER, S. (2017): Steinschlag- und Felssturzdisposition im Dachsteinkalk – Versagensmechanismen und Reichweiten. – In: WIMMER-FREY, I., RÖMER, A. & JANDA, C. (Red.): Arbeitstagung 2017 – Angewandte Geowissenschaften an der GBA, 126–131, Wien.

#### Impressum:

ISBN-978-3-85316-092-3 Alle Rechte für In- und Ausland vorbehalten Eigentümer, Herausgeber und Verleger: Geologische Bundesanstalt im Rahmen der Teilrechtsfähigkeit Für die Redaktion verantwortlich: Ingeborg Wimmer-Frey, Alexander Römer, Christoph Janda Lektorat: Christian Cermak Layout und Satz: Monika Brüggemann-Ledolter Verlagsort: Wien Herstellungsort: Wien Alle Neulinggasse 38, 1030 Wien

© Topografie: BEV 2017, vervielfältigt mit Genehmigung des BEV – Bundesamtes für Eich- und Vermessungswesen in Wien, N 31174/2017.

Druck: Paul Gerin GmbH & CoKG, Gerinstraße 1–3, 2120 Wolkersdorf im Weinviertel

## INHALT

S	eite
Tagungsprogramm	8
Vorwort	10
VORTRÄGE	11
Allgemeine Themen / regionale Geologie	
Robert Supper, Peter Seifert & Hans Georg Krenmayr	
Die Vision der Geologischen Bundesanstalt für das Jahr 2025 und deren inhaltliche Implementierung	3
im Bereich der Hauptabteilung Angewandte Geowissenschaften	13
Hans Georg Krenmayr	
Multithematische Geologische Karte von Österreich 1:1 Million	20
Gerhard W. Mandl	
Vom Traunstein zum Dachstein – Geologie im Querschnitt	22
Franz Neubauer, Manfred Bernroider, Christoph Leitner, Anja Schorn, Thomas Ziegler &	
Johann Genser	
Die Evaporite des Haselgebirges als metamorphe Gesteine: Bildung, Umwandlung, Gefüge, Alter	
und Konsequenzen für die Struktur der Nördlichen Kalkalpen	29
HARALD LOBITZER	
Geologisch-geotouristische Highlights im Inneren Salzkammergut	38
GERLINDE POSCH-TROZMULLER, BERNHARD ATZENHOFER & GERHARD HOBIGER	
Gipsvorkommen in den Kalkalpen: Erdfallpravention mittels Geologie und Hydrochemie	42
MICHAEL STRASSER, MARKUS AUFLEGER, MARKUS ERHARDT, DANIEL INNERHOFER, JASPER MOERNAUT,	
IVIAXIMILIAN SCHELLHORN & WOLFGANG RECHEIS	10
Seesedimente als geologische Zeugen vergangener extremer Naturereignisse	46
Betenziele und Anwendungen der eherflächennehen Coethermie im Albenreum	Е1
MATHIAS RICHIED LÜDGEN M. REITNED MICHAEL LOTTED ANDREA SCHOPED & MARKUS DALZED-KHOMENKO	21
Fine gleiche Terminologie im Quartär und hei Massenbewegungen	56
HERMANN I MAURITSCH	50
Wolfgang Seiberls Beitrag zur Geophysik Österreichs	62
Rohstoffgeologie / Hydrogeologie	
Beatrix Moshammer & Maria Heinrich	
Die Rolle von Kalkstein, Dolomit und Mergel in der Fachabteilung Rohstoffgeologie der Geologischen	I
Bundesanstalt	66
Maria Heinrich, Piotr Lipiarski, Irena Lipiarska, Julia Rabeder, Heinz Reitner, Barbara Träxler &	
Thomas Untersweg	
Das Projekt IRIS – Nutzbare Locker- und Festgesteine in Osterreich im Rahmen der Initiative	70
GBA-Forschungspartnerschaften Mineraironstoffe	70
SEBASTIAN PFLEIDERER, IVIARIA HEINRICH, IRENA LIPIARSKA, JULIA RABEDER, HEINZ REITNER, BARBARA TRAXLER,	
Automatisierte Ableitung der Robstoffgualität von Schwemmfächern. Hangschuttkörnern und	
Talfüllungen in Österreich	75
THOMAS LEITNER & MICHAEL MAYR	15
Die Salinen Austria AG und die Geologie ihrer Salzlagerstätten im Salzkammergut	80
GERHARD SCHUBERT	50
Karstwasser Dachstein	86
Clemens Porpaczy, Arno Kaimbacher & Magdalena Bottig	
3D-Modell Dachstein / Geologische 3D-Modellierung an der Geologischen Bundesanstalt	94

Harald Wimmer		
Von der Karstforschung zum vorbeugenden Grundwasserschutz		99
GERHARD HOBIGER		4.0.0
Kohlendioxid in Wasser mit Alkalinität		103
ALEXANDER KOMER, GERHARD BIEBER, ANDREAS AHL, KOBERT SUPPER &	KLAUS MOTSCHKA	
Der Einsalz aerogeophysikalischer und geoelektrischer Messunge	en zur Grundwasser- und	107
Konstonexploration		107
Naturgefahren / Hallstatt / Archäologie		
Wolfgang Gasperl		
Naturgefahren in Oberösterreich und die Geschichte der Koopera	ation WLV-GBA	113
Birgit Jochum, David Ottowitz, Alexander Römer, Stefan Hoyer, R	OBERT SUPPER, STEFAN PFEILER &	
Stefanie Gruber		
Geoelektrisches Monitoring von Naturgefahren		115
Nils Tilch, Christoph Kolmer & Arben Koçiu		
Digitale Karte der geotechnischen Grobcharakteristika von Oberö	österreich im Maßstab 1:200.000	
(KGG 200 OO)		120
SANDRA MELZNER		120
Steinschlag- und Felssturzdisposition im Dachsteinkalk – Versager	nsmechanismen und Reichweiten	126
Verbauungsgeschichte Hallstätter Mühlbach und Powision des Ge	fabronzononnlans dor	
Marktgemeinde Hallstatt		132
Sandra Melzner Michael Moser David Ottowitz lürgen Otter N	Διςμαεί Lotter, Κίαιις Μοτςςήκα	152
FRICH IMREK, INGEBORG WIMMER-FREY, IOACHIM ROHN & ALEXANDE	R PRFH	
Multidisziplinäre Grundlagenerhebung als Basis für die Implemer	ntierung eines Monitoringsystems	
am Plassen		140
Jürgen Otter, Erich Imrek & Sandra Melzner		
Geodätische Grundlagenvermessung als Werkzeug in der Naturg	efahrenanalyse	147
Hans Reschreiter, Kerstin Kowarik, David Ottowitz, Alexander Rö	mer, Joachim Rohn,	
Franz Ottner & Michael Grabner		
Alles in Bewegung – Massenbewegungen und der prähistorische	Salzbergbau in Hallstatt	153
Naturgafahran / Gashliafgrahan 10 Jahra danash		
Günter Moser		
Gschliefgraben – 10 Jahre danach		161
IOHANNES THOMAS WEIDINGER		101
Chronik eines "vorhergesagten" Erdstroms – das 2007-08 Gschlie	fgraben Ereignis. Oberösterreich	
<i>"</i>	5 5 /	163
Michael Schiffer		
Gschliefgraben 2007–2017: 10 Jahre nach dem Großereignis – Ev	/aluierung der Maßnahmen-	
setzung – Blick in die Zukunft		173
David Ottowitz, Edmund Winkler, Ivo Baroň, Andreas Ahl, Stefan	Pfeiler, Peter Slapansky,	
Birgit Jochum, Alexander Römer & Robert Supper		
Geophysikalische Untersuchungen am Gschliefgraben		178
PHILIPP PREUNER, MONIKA RIEGLER & ANNA SCOLOBIG		105
Sozialwissenschaftliche Aspekte beim Aufbau eines Fruhwarnsyst	tems am Gschliefgraben	185
POSTER		191
Allgemeine und Angewandte Geowissenschaften – Schwerpunkt	Salzkammergut	
GREGOR GÖTZL, JULIA WEILBOLD, HEINZ REITNER, ALBERT SCHEDL, GERHA	ard Hobiger & Julia Rabeder	
Projekt Geothermische Nutzung von Altbergbauen 2012–2016		193
Thomas Hofmann & Christoph Janda		
Erlesene Geologie: Bibliothek, Verlag und Archiv an der GBA		195

CHRISTINE HÖRFARTER & VIKTORIA HAIDER Das Blatt 96 Bad Ischl aus neuer Perspektive – Harmonisierung der Geodaten nach INSPIRE DIRK VAN HUSEN, GERHARD SCHUBERT, RUDOLF BERKA, GERHARD HOBIGER, PHILIPP LEGERER,	196
ANDREA SCHOBER & GERHARD SCHLICHTNER Zum unterirdischen Abfluss des Egelsees/Unterach am Attersee – Ergebnis eines Salzmarkierungs- versuchs in der Flyschzone BIRGIT JOCHUM, DAVID OTTOWITZ, STEEANJE GRUBER, STEEAN PEEUER, BOBERT SUPPER, MANDANA PERESSON	198
GÜNTER MOSER & WOLFGANG GASPERL Katastropheneinsatz in Pechgraben	201
Birgit Jochum, David Ottowitz, Stefanie Gruber, Robert Supper & Anna Ita	
Geophysikalisches und Geotechnisches Monitoring am Gschliefgraben	202
Gerhard Schäffer – unser ehemaliger Allround-Kollege der angewandten Geologie im Salzkammergut	204
Gerhard W. Mandl	
Geologische Profilschnitte durch das Salzkammergut – vom Traunstein zum Dachstein (Ostalpen, Österreich)	206
SANDRA MELZNER & RAINER BRAUNSTINGL	200
Markus Palzer-Khomenko. Mathias Bichler, Horst Heger & Isabella Bayer	208
GBA-Generallegende für Quartär und Massenbewegung	210
HEINZ REITNER, PIOTR LIPIARSKI, MICHAEL MOSER, CHRISTIAN RUPP, AUGUST NEUMÜLLER, CHRISTOPH KOLMER HERBERT HUJBER, MELISSA BAKIC, KATHARINA BÖHM, SUSANNE THERESA EGGER, SEBASTIAN GFELLNER, WOLFGANG KNIERZINGER, MARTIN LINDNER, PHILIPP LIPIARSKI, LUKAS MAIR, ALEXANDER MICHLITS, GERALD SCHUBERT-HLAVAČ & DANIELA STRICK	κ <i>,</i>
Die Zusammenarbeit der Geologischen Bundesanstalt mit dem Amt der Oberosterreichischen	212
Landesregierung am Beispier der geologischen Landesdokumentation Geologis Alexander Römer Robert Supper Gerhard Kreuzer Birgit Jochum David Ottowitz & Stefan Peeuer	212
Entwicklung des geoelektrischen Messsystems der GBA ARNULE SCHILLER & STEFAN PEELER	213
Innovative laser device for capturing cross sections in dry and underwater caves	215
Gregor Schiller & Sandra Melzner	
Terrestrial Laser Scanning in den Geowissenschaften – Chancen und Herausforderungen GERHARD SCHUBERT, RUDOLF BERKA, DANIEL ELSTER, PHILIPP LEGERER, ANDREA SCHOBER,	219
RUDOLF PHILIPPIISCH & HARALD MARENI Aktuelle hydrogeologische Karten und Datensätze der Eachabteilung Hydrogeologie und	
Geothermie	221
Nils Tilch, Alexandra Haberler & Arben Koçiu	
Wissenschaftliche Dokumentation von Rutschungen und Hangmuren im Konnex zur Unwetter- katastrophe in Stanz im Mürztal (Steiermark) im Juli 2016	223
IRENE ZORN & THOMAS HOFMANN	225
Das Salzkammergut im Spiegel der Sammungen der Geologischen Bundesanstalt	ZZO
Internationale Aktivitäten	
Klaus Motschka, Andreas Ahl & Martin Heidovitsch	
Aerogeophysik in Korea	228
DAVID OTTOWITZ, BIRGIT JOCHUM, ROBERT SUPPER, STEFAN PFEILER, STEFANIE GRUBER, ANNA ITA & IVO BAROI	Ň
Das internationale Geomonitoringnetzwerk der GBA	229
SEBASTIAN PFLEIDERER, GREGOR GOTZL, MAGDALENA BOTTIG, CLEMENS PORPACZY & ANNA KATHARINA BRÜSTL	.Е 221
Doris Rupprecht, Stefan Hoyer & Magdalena Bottig	231 
Potential assessment for the use of near surface geothermal energy in the Alpine region within the GRETA project	233

Arnulf Schiller, Ingrid Schattauer, Robert Supper, Klaus Motschka, Gonzalo Alonso Merediz &	
Advanced airborne electro-magnetics for canturing hidden conduits and hydrological narameters	
hy heliconter over the Ox Bel Ha karst conduit system (Quintana Roo, México)	235
CORNELIA STEINER, GREGOR GÖTZL & JULIA WEILBOLD	233
GeoPLASMA-CE in Österreich	237
FILIPPO VECCHIOTTI & ARBEN KOCIU	207
PanGeo EP7 Project: Ground motion study for Salzburg based on Radar SAR PSI (Persistent Scatterer	-
Interferometry) – Analysis and Interpretation	239
Koonaration mit Universitäten	
ANNA SADA AMADUE DAVID OTTOWITZ RIDCIT IOCHUNA STEEAN DEELED & RODEDT SUDDED	
Geoelectrical methods for landslide monitoring, case study Laakirshen. Upper Austria	2/1
MANIEDED REDNOLDED EDANT NEURALIED ANIA SCHODN & THOMAS ZIEGLED	241
Mineralogy and netrology of magmatic and metamorphic rocks in the Permian–Lower Triassic	
Haselgebirge of the Eastern Alns: geodynamic implications	2/13
	273
HYDROSLIDE – Bildgebung mittels Induzierter Polarisation (IP) zur verbesserten Charakterisierung	
von tonreichen Hangrutschungen	2/15
Cariotta Guardiani, David Ottowitz, Birgit Jochum, Stefan Pefuer & Robert Supper	273
Long-term electrical resistivity data analysis for landslide monitoring: the case study of Rosano	2/17
Tania Luckovic Rale Schuster Heinrich Mali Reniamin Huft & Albert Schedi	277
Genesis of spodumene bearing permatites in the Austroalnine unit (Eastern Alns): isotonic and	
geochemical investigations	249
Magdalena Krenn & Joachim Götz	215
Quantifizierung von Reliefveränderungen mithilfe von multitemporalem terrestrischen Laser-	
scanning – Fehlergrößen und Genauigkeitsanalysen am Fallbeispiel der Plassen-Südwand	251
LEOPOLD KRYSTYN	201
Definition der internationalen Rhätium-Basis (GSSP) am Steinbergkogel bei Hallstatt – Status Quo	253
Gerhard W. Mandl, Rainer Brandner & Alfred Gruber	
Zur Abgrenzung und Definition der Kalkalpinen Deckensysteme (Ostalpen, Österreich)	254
Stefan Pfeiler, Mathias Steiner, David Ottowitz, Theresa Maierhofer, Birgit Jochum,	
Stefan Reisenhofer & Adrian Flores-Orozco	
Anwendung verschiedener geophysikalischer Methoden im Permafrost zur "active layer"	
Bestimmung am Beispiel Hoher Sonnblick	256
Alexander Preh	
Analysis and prediction of the runout of rock slides and rock avalanches	257
Sylvain Richoz, Leopold Krystyn & Richard Lein	
Eine <sup>13</sup> C <sub>carb</sub> Kohlenstoff-Isotopenstratigrafie des kalkalpinen Karniums – Beispiel einer multi-	
institutionellen Kooperation zwischen GBA und österreichischen Universitäten	259
Ingrid Schattauer, Alexander Römer, Rachel L. Bailey, Roman Leonhardt, Gerhard Bieber,	
Robert Supper & Klaus Motschka	
Lateral conductivity variations within Austria and its surroundings by means of extrapolating	
airborne electromagnetic data to hydrogeological units	262
Filippo Vecchiotti, Dario Peduto & Tazio Strozzi	
Regional Scale PSI (Persistent Scatterer Interferometry) feasibility Map modelled with CORINE Land	
Cover and Digital Terrain Model: the case of Salzburg	265
Naomi Vouillamoz, Sabrina Rothmund, Manfred Joswig & Birgit Jochum	
Patterns of endogenous seismicity at active clay-rich landslides	268
Mineralrohstoffinitiative	
Thomas Angerer, Peter Onuk, Peter Tropper & Lena Bodeving	
Minor and trace elements in sphalerite from lead-zinc-ores in the Ötztal-Stubai complex	269

<ul> <li>FRITZ EBNER, MARTIN DIETZEL, DOROTHEE HIPPLER &amp; HEINRICH MALI</li> <li>Mg-Isotopie in Magnesiten – eine Pilotstudie für den Lagerstätten-Isotopenkatalog Österreichs</li> <li>FRIEDRICH FINGER, MICHAEL WAITZINGER, DANIEL ELSTER, GERHARD SCHUBERT &amp; CHRISTIAN BENOLD</li> </ul>	271
Uranmineralisationen im mittleren Tauernfenster" ADRIAN FLORES-OROZCO, CHRISTIAN BENOLD, ALEXANDER RÖMER & ALBERT SCHEDL Geophysikalische Prospektionsmethoden zur stofflichen Charakterisierung von Bergbauhalden im	273
Hinblick auf eine potenzielle Rohstoffnutzung mit begleitender Evaluierung von Haldeninhalten mittels geochemischer-mineralogischer Stoffflussanalysen/POTHAL HEINRICH MALI, TANJA ILICKOVIC, RALF SCHUSTER, PETER ONUK & ALBERT SCHEDL Verteilung der Spodumen-Pegmatite sowie differenzierter Pegmatite und Leukograpite im	276
Ostalpinen Kristallin	278
PETER ONUK & FRANK MELCHER Identifikation und Klassifizierung potenzieller Hochtechnologiemetallressourcen in ostalpinen Blei-Zink-Lagerstätten	280
Magdalena Pupp, Reinhard F. Sachsenhofer, Maria Heinrich & Piotr Lipiarski	
Source rock potential of Oligocene Source Rocks of the Waschberg Zone, Lower Austria INGEBORG WIMMER-FREY, CHRISTIAN BENOLD, PETER FILZMOSER, MARIA HEINRICH, GERHARD HOBIGER, CAN MERT, JULIA RABEDER, HEINZ REITNER & JÜRGEN M. REITNER	282
Baurohstoffvorsorge Lösse und Lösslehme	284
Hallstatt	
ERWIN HEINE	205
STEFAN JANU & SUSANNE MEHLHORN	285
Ereignisanalyse und Modellierung zur Gefahrenbeurteilung und Projekterstellung am Beispiel des Hallstätter Mühlbaches	287
Ereignis- und Schadenskataster von Sturzprozessen (Steinschlag/Felssturz) in der Gemeinde Hallstatt	289
David Ottowitz, Birgit Jochum, Konstantinos Tsakirbaloglou, Jung-Ho Kim & Hans Reschreiter Geoelektrische Messungen im Hallstätter Salzbergwerksstollen	291
EXKURSIONEN	293
Beatrix Moshammer	250
Exkursion 1A (20.06.2017): Kalksteinbruch Starnkogel HARALD LOBITZER	295
Exkursion 1A (20.06.2017): Kulturgeologischer Spaziergang im Stadtgebiet von Bad Ischl	306
HARALD WIMMER Exkursion 1B (20.06.2017): Nutzung und Schutz von Trinkwasservorkommen im Inneren	216
Salzkanniergut Sandra Melzner	210
Exkursion 2A (21.06.2017): Rutschungs- und Felssturzpotenzial am Plassen	318
HANS RESCHREITER, DAVID OTTOWITZ, ALEXANDER RÖMER & BIRGIT JOCHUM Exkursion 2B (21.06.2017): Archäologie im Hallstätter Salzberg	326
Exkursion 2C (21.06.2017): Dachstein-Mammuthöhle, Karstquelle "Kessel" und Thermalquellen "Warmes Wasser" am Hallstätter See	328
JOHANNES THOMAS WEIDINGER Exkursion 3 (22.06.2017): Entlang des geplanten Gschliefgraben-Geotrails	336

## Tagungsprogramm

#### MONTAG, 19.06.2017 BAD ISCHL: Trinkhalle, Auböckplatz 5

#### Allgemeine Themen und regionale Geologie

11:00–13:00 Registrierung im Tagungsbüro

13:00–13:15 Begrüßung und Eröffnung der Arbeitstagung

13:15–13:45 R. SUPPER (GBA): Die Vision der Geologischen Bundesanstalt für das Jahr 2025 und deren inhaltliche Implementierung im Bereich der Hauptabteilung Angewandte Geowissenschaften
13:45–14:05 H.G. KRENMAYR (GBA): Multithematische Geologische Karte von Österreich 1:1 Million
14:05–14:25 G.W. MANDL (GBA): Vom Traunstein zum Dachstein – Geologie im Querschnitt
14:25–14:45 F. NEUBAUER (Universität Salzburg):

Die Evaporite des Haselgebirges als metamorphe Gesteine: Bildung, Umwandlung, Gefüge, Alter und Konsequenzen für die Struktur der Nördlichen Kalkalpen

14:45–15:05 H. LOBITZER (Bad Ischl): Geologisch-geotouristische Highlights im Inneren Salzkammergut

#### 15:05–15:30 Kaffeepause

15:30–15:50 G. POSCH-TRÖZMÜLLER (GBA):

Gipsvorkommen in den Kalkalpen: Erdfallprävention mittels Geologie und Hydrochemie 15:50–16:10 M. STRASSER (Universität Innsbruck):

Seesedimente als geologische Zeugen vergangener Extremereignisse im Alpenraum 16:10–16:30 G. GötzL (GBA):

Potenziale und Anwendungen der oberflächennahen Geothermie im Alpenraum 16:30–16:50 L. PLAN (NHM):

Neue Forschungsergebnisse zu Höhlenentstehung und Höhleneis in den Dachsteinhöhlen

16:50–17:10 M. BICHLER (GBA): Eine gleiche Terminologie im Quartär und bei Massenbewegungen

17:10–17:30 Н. MAURITSCH (Universität Leoben): Wolfgang Seiberls Beitrag zur Geophysik Österreichs

17:30–22:00 Posterpräsentationen & Ice Breaker Party (unterstützt von Stadt und Tourismusverband Bad Ischl)
17:45–18:00 Posterkurzvorträge 1: Allgemeine und angewandte Geowissenschaften mit Schwerpunkt Salzkammergut

18:30–18:45 Posterkurzvorträge 2: 25 Jahre Geophysik an der GBA / Auslandsprojekte der GBA

DIENSTAG, 20.06.2017 BAD ISCHL: Trinkhalle, Auböckplatz 5

#### Rohstoffgeologie / Hydrogeologie

09:00–9:30 В. Мознаммек (GBA): Die Rolle von Kalkstein, Dolomit und Mergel in der Karbonatrohstoffforschung an der Geologischen Bundesanstalt

- 09:30–9:50 М. НЕІNRICH (Wien): Das Projekt IRIS Nutzbare Locker- und Festgesteine in Österreich im Rahmen der Initiative GBA-Forschungspartnerschaften Mineralrohstoffe
- 09:50–10:10 S. PFLEIDERER (GBA): Automatisierte Ableitung der Rohstoffqualität von Schwemmflächen, Hangschuttkörpern und Talfüllungen in Österreich

10:10–10:30 T. LEITNER (Salinen Austria AG):

Die Salinen Austria AG und die Geologie ihrer Salzlagerstätten im Salzkammergut

10:30–11:30 Posterpräsentationen & Kaffeepause

Mineralrohstoffinitiative, laufende bzw. kürzlich abgeschlossene Arbeiten im Rahmen der Kooperation GBA und Universitäten

11:30–11:45 G. SCHUBERT (GBA): Karstwasser Dachstein

11:45–12:00 C. PORPACZY (GBA): 3D-Modell Dachstein / Geologische 3D-Modellierung an der GBA 12:00–12:15 H. WIMMER (Land OÖ): Von der Karstforschung zum vorbeugenden Grundwasserschutz 12:15–12:30 G. HOBIGER (GBA): Kohlendioxid in Wasser mit Alkalinität

Programm 🕼

12:30–12:45 A. RÖMER (GBA): Der Einsatz aerogeophysikalischer und geoelektrischer Messungen zur Grundwasser- und Rohstoffexploration

#### **EXKURSIONEN 1** 14:00–18:00

1A: B. MOSHAMMER (GBA): Kalksteinbruch Starnkogel und

- H. LOBITZER (Bad Ischl): Kulturgeologischer Spaziergang im Stadtgebiet von Bad Ischl
- **1B:** H. WIMMER (Land OÖ): Nutzung und Schutz von Trinkwasservorkommen im Inneren Salzkammergut

#### MITTWOCH, 21.06.2017 HALLSTATT: Kultur- und Kongresshaus, Seestraße 169

#### Naturgefahren / Hallstatt / Archäologie

09:00-9:30 W. GASPERL (WLV):

Naturgefahren Oberösterreich und die Geschichte der Kooperation WLV-GBA

- 09:30–09:50 В. ЈОСНИМ (GBA): Geoelektrisches Monitoring von Naturgefahren
- 09:50–10:10 N. TILCH (GBA): Digitale Karte der geotechnischen Grobcharakteristika von Oberösterreich im Maßstab 1:200.000 (KGG 200 OÖ)
- 10:10–10:30 Posterpräsentationen & Kaffeepause
- 10:30-10:50 S. Melzner (GBA):
- Steinschlag- und Felssturzdisposition im Dachsteinkalk Versagensmechanismen und Reichweiten 10:50–11:10 C. PÜRSTINGER (WLV): Verbauungsgeschichte Hallstätter Mühlbach und Revision des
  - Gefahrenzonenplans der Gemeinde Hallstatt
- 11:10–11:30 S. MELZNER (GBA): Multidisziplinäre Grundlagenerhebung als Basis für die Implementierung eines Monitoringsystems am Plassen
- 11:30–11:50 J. Otter (BEV):

Geodätische Grundlagenvermessung als Werkzeug in der Naturgefahrenanalyse

11:50-12:10 H. RESCHREITER (NHM):

Alles in Bewegung – Massenbewegungen und der prähistorische Salzbergbau in Hallstatt

Mittagsjause im Kultur- und Kongresshaus (Einladung Gemeinde Hallstatt)

#### **EXKURSIONEN 2** 14:00–18:00

- 2A: S. MELZNER (GBA): Rutschungs- und Felssturzpotenzial am Plassen
- **2B:** H. RESCHREITER (NHM): Archäologie im Hallstätter Salzberg
- **2C:** L. PLAN (NHM), G. SCHUBERT (GBA): Dachstein-Mammuthöhle, Karstquelle "Kessel" und Thermalquellen "Warmes Wasser" am Hallstätter See
- 19:30–21.00 P. Seifert (GBA):

Hallstatt & Geologie – eine jahrtausendelange Beziehung zwischen Nutzen und Gefahr Öffentlicher Abendvortrag mit Podiumsdiskussion / Diskussionsrunde mit Bevölkerung

#### DONNERSTAG, 22.06.2017 GMUNDEN: K-Hof Kammerhofmuseen, Kammerhofgasse 8 Naturgefahren / Gschliefgraben – 10 Jahre danach

09:00–09:30 G. MOSER (ZT Moser/Jaritz): Gschliefgraben – 10 Jahre danach

09:30–09:50 J. WEIDINGER (Erkudok Institut/K-Hof-Museen Gmunden):

Chronik eines "vorhergesagten" Erdstroms – das 2007-08 Gschliefgraben Ereignis, Oberösterreich 09:50–10:10 M. SCHIFFER (WLV): Gschliefgraben 2007–2017: 10 Jahren nach dem Großereignis –

- Evaluierung der Maßnahmensetzung Blick in die Zukunft
- 10:10–10:30 D. OTTOWITZ (GBA): Geophysikalische Untersuchungen am Gschliefgraben
- 10:30–10:50 P. PREUNER (IIASA):
  - Sozialwissenschaftliche Aspekte beim Aufbau eines Frühwarnsystems am Gschliefgraben
- 11:15–12:30 Podiumsdiskussion: Gschliefgraben What's next? Mittagsverpflegung (Einladung Stadt Gmunden)

#### **EXKURSION 3** 12:30–15:30:

**3:** J. WEIDINGER: Entlang des geplanten Gschliefgraben-Geotrails

### Vorwort

Seit den 1970er Jahren gibt es Arbeitstagungen der Geologischen Bundesanstalt (GBA). Sie waren und sind ein wichtiger Fixpunkt der geowissenschaftlichen Forschung in Österreich. Der Auftrag der GBA ist es, geowissenschaftliche Daten für ganz Österreich zu erheben, zu interpretieren und allen Interessierten zur Verfügung zu stellen. Für die Arbeitstagung 2017 wurde ein erweitertes Konzept erstellt, das sich thematisch auf Themenbereiche der angewandten geowissenschaftlichen Forschung und deren Ergebnisse in einem bestimmten Gebiet fokussiert. Jeder Tag steht unter einem bestimmten Themenzyklus, wie regionale Geologie des Salzkammergutes, Energie, Rohstoffe, Wasser und Naturgefahren. Auch die Methodik von Untersuchungsmethoden bis hin zu Monitoring sind inkludiert. Jeden Vormittag gibt es Fachvorträge zu diesen Themen, gefolgt von dazu passenden Exkursionen am Nachmittag.

Die Kombination von wissenschaftlichen Vorträgen zu unterschiedlichen geowissenschaftlichen Themenbereichen eines konkreten Gebiets verbunden mit Exkursionen zu bedeutenden Aufschlüssen im Gelände initiiert Diskussionen zwischen Fachleuten, was dem Bemühen der GBA entspricht, neues Wissen durch wissenschaftlichen Diskurs zu generieren und im Sinne von Open Science mit anderen Expertinnen und Experten, im Rahmen von Diskussionsrunden und einem Abendvortrag auch mit der Bevölkerung, zu teilen.

Die Durchführung der Arbeitstagung im Zweijahresrhythmus ist ein wichtiges Zeichen für unser Bestreben, die geowissenschaftliche Forschung in Österreich voranzutreiben. Die interdisziplinäre und möglichst flächendeckende Erfassung von geowissenschaftlichen Daten im Gelände ist die Basis für die Erstellung und Verfeinerung des geologischen Modells Österreichs. Geowissenschaftliche Daten unterstützen mehr denn je Lösungsansätze zur Bewältigung verschiedener gesellschaftlich bedeutender Fragestellungen, wie die Vorkommen und Verfügbarkeit von Wasser, Rohstoffen und Energie bis hin zu Naturgefahren und deren Auswirkungen auf Siedlungsräume. Entsprechend ihrer neuen Vision und Strategie positioniert sich die GBA als Daten-, Informations-, Kompetenz- und Kommunikationszentrum für Geowissenschaften in Österreich und ist bestrebt, die große Bedeutung ihrer Arbeit den Bundes- und Landesdienststellen, der Wirtschaft sowie der breiten Öffentlichkeit bewusst zu machen. Die Arbeitstagung leistet dazu einen signifikanten Beitrag.

Allen Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern der GBA sowie den auswärtigen Fachkolleginnen und Fachkollegen, die inhaltlich und organisatorisch zum Gelingen der Arbeitstagung beigetragen haben, möchte ich für Ihren großen persönlichen Einsatz herzlich danken.

# VORTRÄGE

Charts C

#### THEMEN:

Allgemeine Themen / regionale Geologie

Rohstoffgeologie / Hydrogeologie

Naturgefahren / Hallstatt / Archäologie

Naturgefahren / Gschliefgraben: 10 Jahre danach

## Die Vision der Geologischen Bundesanstalt für das Jahr 2025 und deren inhaltliche Implementierung im Bereich der Hauptabteilung Angewandte Geowissenschaften

ROBERT SUPPER (1), PETER SEIFERT (1) & HANS GEORG KRENMAYR (1)

Die Gesellschaft des 21. Jahrhunderts steht vor großen Herausforderungen. Der Schutz von Siedlungsraum und Infrastruktur vor infolge des Klimawandels gehäuft auftretenden Naturgefahren, nachhaltige Rohstoffgewinnung, der Grundwasserschutz und die geothermische Nutzung des Untergrundes sind existenziell wichtige Grundlagen für die Daseinsvorsorge, die wirtschaftliche Stabilität unseres Landes, ökonomisches Wachstum und die nachhaltige Entwicklung der Gesellschaft.

Für die Entwicklung adäquater Lösungsansätze zur Bewältigung dieser Herausforderungen ist **Wissen über den Untergrund von essenzieller Bedeutung** (EUROGEOSURVEYS, 2014). Die Verfügbarkeit dieses Wissens bildet die Basis für politische Entscheidungsprozesse (insbesondere betreffend Raumplanung, Ressourcennutzung, Katastrophenschutz) und ist für die Reduktion des Risikos von Naturgefahren sowie für nachhaltiges Ressourcenmanagement essenziell.

Anlass für die Entwicklung einer "Vision 2025" und der zugrundeliegenden Strategie war die vom Bundesministerium für Wissenschaft, Forschung und Wirtschaft (BMWFW) beauftragte internationale Evaluierung der Geologischen Bundesanstalt (Abschlussbericht vom 2. November 2015). Darüber hinaus wurden den Überlegungen der Bericht des Rechnungshofes 2006, die FTI-Strategie des Bundes von 2011 (BUNDESKANZLERAMT, 2011), das sich ständig wandelnde wissenschaftliche Umfeld – insbesondere die Integrationsprozesse im europäischen Forschungsraum - und die strategischen Initiativen des BMWFW zugrunde gelegt. Dies alles geschieht vor dem Hintergrund der veränderten und spürbar gestiegenen gesellschaftlichen Anforderungen an geowissenschaftliche Daten und Expertise. Aufgrund dieser Entwicklungen wurde eine neue Programmstruktur mit interdisziplinär ausgerichteten Schwerpunkt-Programmen (Abb. 1) geschaffen und die folgende Vision für die Geologische Bundesanstalt (GBA) im Jahr 2025 entwickelt:

"Die Geologische Bundesanstalt (GBA), als Forschungsinstitution des Bundes, ist federführend in der **Erforschung (der räumlichen und zeitlichen Dimension) des geologischen Untergrundes des Staatsgebietes**.

Die GBA hat ihren Fokus auf die geowissenschaftlichen Aspekte strategischer Schlüsselthemen mit hoher gesellschaftlicher Relevanz gerichtet, die speziell mit der Versorgung Österreichs mit mineralischen Rohstoffen und trinkbarem Grundwasser, der Naturgefahrenvorsorge und der Erschließung alternativer Energiequellen verbunden sind. Die Umsetzung erfolgt im Rahmen von Schwerpunkt-Programmen durch interdisziplinäres Arbeiten innerhalb der GBA und in Kooperation mit Partnerinstitutionen wie Universitäten, außeruniversitären Forschungseinrichtungen sowie mit der Wirtschaft.

Die GBA betreibt innovative Forschung zur Beantwortung spezifischer Forschungsfragen, die für ihre Schwerpunkt-Programme relevant sind und betreibt im Rahmen dieser Fokussierung auch die notwendige (Weiter-) **Entwicklung von Messver**fahren und Analysemethoden. Als Responsible Research Performing Institution (vgl. dazu BM-WFW, 2015) widmet sich die GBA in enger Abstimmung mit ihren Stakeholdern der In-Wertsetzung ihrer Forschungsergebnisse als Beitrag zur Lösung gesellschaftsrelevanter Fragestellungen. Dabei kommen auch innovative Konzepte der Wissensproduktion wie **Citizen Science** zum Einsatz.

Die GBA ist die staatliche Anbieterin von objektiver, verlässlicher und aktueller geowissenschaftlicher Expertise und Information für das Gemeinwohl in Österreich sowie die ,zentrale Informations- und Beratungsstelle des Bundes im Bereich der Geowissenschaften' Die GBA hat somit ihre Position als das zentrale, unabhängige Daten-, Informations-, Kompetenz- und Kommunikationszentrum für die Geologie Österreichs etabliert (GEOLOGICOM AUSTRIA). Sie erhebt selbst umfangreiche Daten über den



geologischen Untergrund mittels modernster Methoden (z.B. Aerogeophysik, Geomonitoring, spezielle Laboranalytik). Andererseits archiviert und interpretiert sie für ihren Aufgabenbereich wichtige Daten, die von anderen öffentlichen Institutionen bereitgestellt werden, in ihrer zentralen Datenbank. Die gesetzlichen Voraussetzungen dafür wurden geschaffen. Im Rahmen ihrer **Open** Data Strategie ermöglicht die GBA den facheinschlägigen Dienststellen bei Bund und Ländern, den Interessenvertretern (z.B. Wirtschaftskammer Österreich) und der Öffentlichkeit den einfachen Zugang zu diesen Geodaten. Über Web-Services kann die zentrale GBA-Datenbank in die dezentralen Systeme ihrer Stakeholder (Ministerien, Länder, Gemeinden...) integriert werden. Die GBA ist dadurch die wichtigste Drehscheibe in Österreich für Expertenwissen im Bereich Geologie, die als Basis für das politische Handeln und für öffentliche Planungen dient, und fungiert als die Verwalterin des Geologischen Modells Österreichs.

Die GBA hat ihre Rolle als **GEOLOGIE-Kommunikationszentrum Österreichs** etabliert, gibt Fachinformationen an die Öffentlichkeit weiter und kommuniziert ihre Forschungsergebnisse der Zivilgesellschaft im Sinne von **Open Science** und **Open Innovation**.

Die GBA beteiligt sich im Rahmen von EuroGeo-Surveys durch Bereitstellung ihrer spezifischen Kompetenz im Rahmen eines geplanten ,**Geologi**cal Service for Europe' an der Entwicklung des europäischen Forschungsraums. Weiters nimmt sie an führenden internationalen Kooperations-projekten, vorrangig in Ländern Mittel- und Südosteuropas, teil, um den geologischen Untergrund im grenznahen Bereich Österreichs besser interpretieren zu können. Die außereuropäischen Forschungsaktivitäten der GBA sind der Unterstützung der Sustainable Development Goals (SDG) durch Anwendung der in Österreich geschaffenen Kompetenz gewidmet."

Die inhaltliche Fokussierung der Schwerpunkt-Programme zur Umsetzung der "Vision 2025" im Bereich der Angewandten Geowissenschaften wird im Folgenden näher beschrieben.

#### Schwerpunkt-Programme im Arbeitsbereich Angewandte Geowissenschaften

Hochqualitative Daten bilden die Grundlage für abgeleitete Produkte, wie Prognosen, Risikokarten und Managementstrategien. Die Verfügbarkeit und Qualität dieser Daten ist schlussendlich ausschlaggebend für die Qualität dieser Produkte und für die Nachhaltigkeit der darauf aufbauenden Entscheidungen. Algorithmen können nur insoweit verlässliche Aussagen treffen, wie es die Qualität ihrer Eingabedaten zulässt.

In den letzten Jahrzehnten wurden zwar in vielen Bereichen ausgereifte Modellalgorithmen entwickelt, entsprechend hochqualitative Eingabedaten stehen oft, meist aus Kostengründen, nicht zur Verfügung. Eine Verbesserung der Datenqualität und die breite Verfügbarmachung solcher Daten hätten somit eine weitreichende Auswirkung auf die Aussagekraft von Modellierungen und Prognosen im Sinne von Responsible Research. Es ließe sich dadurch ein signifikant erhöhter Mehrwert für die nachhaltige Nutzung von Geo-Ressourcen und somit für die resiliente Entwicklung der Gesellschaft im weiteren Sinne generieren.

Die Geologische Bundesanstalt sieht es als unabhängige, hoheitsnahe Institution aufgrund der hohen gesellschaftspolitischen Relevanz dieses Themenbereiches als eine ihrer Hauptaufgaben an, diese Lücke zu schließen und legt daher einen Hauptfokus ihrer Arbeit auf die *Generierung solcher hochqualitativer Daten*.

Im Bereich der Angewandten Geowissenschaften liegt der Fokus der Schwerpunkt-Programme (Abb. 2), aufbauend auf den Ergebnissen der geologischen Kartierung, bei der Erstellung von dreidimensionalen, interpretierten Untergrundmodellen (Lage und Eigenschaften) sowie im Naturgefahrenbereich zusätzlich bei der Erhebung von Prozessdaten (Monitoring). Die Modelle beschränken sich nicht auf die dreidimensionale Darstellung der gemessenen/bestimmten Werte, sondern es werden für die jeweilige Fragestellung zugeschnittene, von Stakeholdern direkt verwendbare, interpretierte Untergrundmodelle (z.B. geotechnische Parameterkarten, Grundwassersystemkarten) erstellt. Diese werden aus einer interdisziplinären Verschneidung diverser Datensätze (Daten der geologischen und angewandten Kartierung, Geophysik, Geochemie) generiert. Die Art der Verschneidung ist innovativ und Gegenstand der Forschungstätigkeit der GBA.

Zusätzlich widmen sich die Angewandten Geowissenschaften im Bereich "Forschung" der Beantwortung spezieller, angewandter und gesellschaftsrelevanter Fragestellungen sowie der Entwicklung spezifischer, für die Arbeiten notwendiger Analyse- und Messverfahren.

Schlussendlich werden die erarbeiteten Ergeb-

nisse gemeinsam mit Partnern aus dem wissenschaftlichen und nichtwissenschaftlichen Bereich in Produkte (z.B. Grundwasserregionalstudien, Kompetenzplattformen, Einsatzgruppe Naturgefahren, regionale Rohstoffpotenzialkarten) eingebracht, die durch ihre An-/Verwendung zur nachhaltigen Entscheidungsfindung in der Gesellschaft, öffentlichen Verwaltung und Politik beitragen.

Die GBA widmet sich in erster Linie geowissenschaftlichen Themen in Österreich, doch sie beteiligt sich auch an internationalen Projekten. Internationale Projekte abseits der österreich-/ EGS-fokussierten wissenschaftlichen Kooperationen, bei denen das geschaffene Wissen angewandt wird, werden sich hauptsächlich der Unterstützung der *Sustainable Development Goals (SDG)* (GILL, 2016; STEWART & GILL, 2017) in Drittstaaten widmen. Sie werden thematisch sowohl Maßnahmen zum nachhaltigen Management von Ressourcen, der Risikovorbeugung vor Naturgefahren, als auch Capacity Building beinhalten. **Programm Mineralische Rohstoffe** 



Die Versorgung mit mineralischen Roh- und Grundstoffen ist eine unverzichtbare Grundlage für den Erhalt unseres Lebensstandards und für die Sicherung des Technologie- und Industriestandortes Österreich. Die ausreichende und gesicherte Bereitstellung dieser Rohstoffe ist daher essenziell für die Wettbewerbsfähigkeit des Wirtschaftsstandorts Österreich und damit für die Sicherung von Wachstum, Wertschöpfung und Arbeitsplätzen. In Ermangelung einer Vielzahl von mineralischen Rohstoffen wird Österreich auch zukünftig in hohem Maß von Rohstoffimporten abhängig sein. Die Versorgung aus eigenen Rohstoffvorkommen gewinnt daneben aber zunehmende Bedeutung. Zur mittelfristigen Sicherung und Verbesserung der Eigenversorgung mit Rohstoffen wird, aufbauend auf dem Österreichischen Rohstoffplan (WEBER, 2012), der Österreichischen Rohstoffstrategie (BMWFW, 2017) und verschiedenen EU-Rohstoffinitiativen, gezielte Rohstoffforschung betrieben.

Im Detail umfasst dieses Programm die Erkundung des Rohstoffpotenzials des Bundesgebietes mit Schwerpunktsetzung auf Baurohstoffen. Der Fokus Baurohstoffe ist aufgrund des hohen Bedarfes an diesem Rohstoff in Österreich und durch die Notwendigkeit, Ressourcenkonflikte im Spannungsbereich verschiedenster Nutzer durch eine entsprechende Raumplanung nachhaltig zu vermeiden, motiviert. Die GBA liefert hierzu Grundlagendaten über spezifische Eigenschaften, Verbreitung und Genese der einzelnen Baurohstofftypen in Österreich. Eine spezielle Forschungskomponente widmet sich den regenerativen Kiessanden (nachhaltiger Rohstoff) sowie der Kalibrierung geoelektrischer Parameter mittels Magnetresonanz (NMR) zur Ableitung von Rohstoffparametern. Bei beiden Themen besitzt die GBA Alleinstellungsmerkmal. Mit letzterem verbunden ist die Erarbeitung österreichweiter Explorationsstrategien sowie regionaler Potenzialkarten für gewisse Rohstofftypen in Zusammenarbeit mit den Ländern und anderen Stakeholdern.

Aufgrund rohstoffpolitischer Notwendigkeiten wird auch in den kommenden Jahren Forschung zu Eigenschaften, Verbreitung und Genese anderer Rohstoffe (Rohstoffpotenzialkarten), wie z.B. Industrierohstoffe und metallische Rohstoffe, sowie Grundlagenarbeiten zu unkonventionellen Kohlenwasserstoffen durchgeführt. Bei ersteren sollen die Methode der magnetischen Inversion und alternative Analyseverfahren für magneti-

dla- werden. Weitere Arbeiten fokussieren sich auf
 und die Klassifikation und Bewertung der Inhaltsstoffe
 ust- von Bergbauhalden.
 und

#### Programm Grundwasser

Sauberes Grundwasser stellt die Lebensgrundlage für Mensch und Tier dar. In Österreich erfolgt die Wasserversorgung beinahe zur Gänze aus Grundwasser und auch in der Landwirtschaft wird vielfach Grundwasser für die Bewässerung herangezogen. Durch die vermehrte Nutzung und durch die zunehmende Belastung mit Schadstoffen gerät diese lebensnotwendige Ressource vermehrt unter Druck. Zukünftige Konflikte bei der Ressourcennutzung sind vorhersehbar, können aber nur durch entsprechende objektive Datengrundlagen und Modelle gehandhabt werden. Somit liefern hydrogeologische Daten und Expertisen wichtige Beiträge für den Schutz und die Nutzung des Lebensmittels Wasser. Gegenstand dieses Programmes ist der Einfluss der Geologie auf die unterirdische Wasserführung und die Beschaffenheit des Grundwassers.

sche Daten an der GBA getestet und etabliert

Ein Alleinstellungsmerkmal des Programmes Grundwasser an der GBA ist die Kombination jener Kompetenzen, die zur Erstellung mehrdimensionaler Modelle von nutzbaren Grundwasservorkommen notwendig sind – das betrifft die Fachbereiche allgemeine Hydrogeologie, Geophysik, geologische 3D-Modellierung und numerische Modellierung (Strömungs- und thermische Modelle).

Dieser Arbeitsbereich fokussiert somit darauf, geowissenschaftliche Grundlagendaten (u.a. österreichweite Themenkarten) für den Schutz und die nachhaltige Nutzung von Grundwässern in einem interdisziplinären Ansatz (hydrogeologische, geologische, geophysikalische und geochemische Daten) zu erheben und in Richtung 3D-Aquifermodell (Lage, Struktur, Eigenschaft, Qualität) und Grundwassersystemkarten zu interpretieren.

In den letzten Jahren rückten die im Trinkwasser festgestellten vielfachen Grenzwertüberschreitungen bei zumeist geogenen anorganischen Lösungsinhalten zunehmend in das mediale Interesse. Gerade hier kann die GBA als unabhängige Forschungseinrichtung des Bundes mit ihrer Expertise als weiteren Schwerpunkt im interdisziplinären Programm Grundwasser zur Aufklärung der Herkunft dieser unerwünschten Lösungsinhalte beitragen. Die Forschung in diesem Arbeitsbereich widmet sich daher schwerpunktmäßig der Untersuchung der Wechselwirkung zwischen Wasser und Gestein, da Kenntnisse über potenzielle Vorkommen von erhöhten geogenen Lösungsinhalten ("gelöste Stoffe") für nachhaltiges Grundwassermanagement von entscheidender Bedeutung sind.

Schlussendlich werden die erarbeiteten Grundlagen in enger Kooperation mit den Nutzern in hydrogeologischen Regionalstudien zur Erfassung der Menge, Beschaffenheit und Vulnerabilität von Grundwasserressourcen in ausgewählten Gebieten in Wert gesetzt.

#### **Programm Geothermie**

Im Endbericht der Studie "Energieautarkie für Österreich 2050" (STREICHER et al., 2010) wird ein Ausbau der "Tiefen Geothermie" auf 71 Petajoule (PJ) p.a. bis 2050 zur Erfüllung der energie- und klimapolitischen Ziele gefordert. Unter Berücksichtigung der Wärmeversorgung mittels "Tiefer Geothermie" werden bis dato ca. 2,4 PJ pro Jahr umgesetzt, was etwa 3 % der Zielvorgaben für das Jahr 2050 gemäß der zuvor angeführten Studie entspricht. Mittels Anwendung der oberflächennahen Geothermie werden derzeit bereits ca. 16 PJ p.a. an Wärme bereitgestellt. Zusammenfassend lässt sich festhalten, dass Anwendungen der oberflächennahen und tiefen Geothermie einen wesentlichen Beitrag zur Verbesserung der Energieautarkie Österreichs und zur Reduktion von CO<sub>2</sub> Emissionen liefern können.

Aus dieser Tatsache abgeleitet ist nachhaltige alternative Energieversorgung das Thema dieses Programmes, wobei sich die Arbeiten der GBA hauptsächlich auf die Nutzung der Geothermie beschränken. Es sollen Informationssysteme zur Bewertung des Untergrundes hinsichtlich des österreichweiten Nutzungs- und Risikopotenzials für seichte und tiefe Geothermie erstellt werden. Die Informationssysteme nutzen und interpretieren die an der GBA vorhandenen Untergrundinformationen sowie Daten aus den aufzubauenden Datenbanken für die Bodentemperatur und Wärmeleitfähigkeit des Untergrundes Österreichs. Darauf basierend sollen Kompetenzplattformen zu den jeweiligen Themen aufgebaut werden, um in Kooperation mit Behörden, Nutzern und Anwendern nachhaltige Bewirtschaftungskonzepte und Genehmigungsverfahren zu erstellen, zu testen und zu etablieren. Ein spezieller Forschungsansatz widmet sich der Weiterentwicklung und Etablierung der Methode der geologischen 3D-Modellierung.

#### Programm Geomonitoring und Katastrophenprävention

Geogen bedingte Naturkatastrophen verursachen Jahr für Jahr enorme Kosten. Auf Basis des kürzlich veröffentlichten österreichischen Klimaberichtes (APCC, 2014) ist anzunehmen, dass aufgrund vermehrt auftretender extremer Wetterereignisse das Potenzial für Naturgefahren noch steigen wird.

Im Bereich Naturgefahren sind nicht nur Untergrundmodelle mit entsprechenden Parameterzuweisungen, sondern auch Daten über Auftreten und Ablauf von Ereignissen von essenzieller Bedeutung für Risikoabschätzung und nachhaltige Katastrophenprävention. Beide werden in einem interdisziplinären Ansatz erhoben und interpretiert. Dabei gelangen Datenquellen zum Einsatz, bei denen die GBA zumindest in Österreich Alleinstellungsmerkmal besitzt, wie Aerogeophysik und Geomonitoring. Gemeinsam mit Partnern werden diese Grundlagendaten in Modelle eingearbeitet und Produkte für die Gefahrenprävention (z.B. Gefahrenhinweiskarten) abgeleitet. Im Bereich Forschung widmet sich die GBA vorrangig der Frage, wodurch und unter welchen Voraussetzungen Massenbewegungen in Österreich in unterschiedlichen geologischen Einheiten ausgelöst werden (Triggerprozesse). Da eine hohe Qualität bei den Prozessdaten für eine genaue Interpretation unumgänglich ist, werden Entwicklungsarbeiten im Bereich Monitoringsysteme und Monitoringsoftware vorangetrieben.

Schlussendlich wird die erarbeitete Kompetenz dazu genutzt, eine Einsatzgruppe zu etablieren, um bei Katastrophenfällen Daten den jeweiligen Entscheidungsträgern zeitnah zur Verfügung zu stellen. Die Einsatzgruppe setzt sich zusammen aus einem Indoor-Team, das vorhandene Grundlagendaten und aktuelle Fernerkundungsdaten aufbereitet und bereitstellt, sowie einem Outdoor-Team, das bei Bedarf Monitoringsysteme installiert, Messungen vom Hubschrauber und Boden aus durchführt und den Prozess der Ereignisse beobachtet und dokumentiert. Somit können einerseits den Einsatzkräften im Katastrophenfall hochqualitative Informationen zur Optimierung der Entscheidungsfindung zur Verfügung gestellt werden, andererseits wird der Ablauf des Ereignisses dokumentiert und es können "Lessons learned" für zukünftige Katastrophen abgeleitet werden. Hier wird enge Zusammenarbeit mit dem SKKM (Staatliches Katastrophen- und Krisenmanagement), dem Bundesheer und der Wildbachund Lawinenverbauung (WLV) angestrebt.

#### Zusammenfassung und Ausblick

Die Notwendigkeit zur Anpassung der Aufgabenbereiche der GBA an die sich ändernden gesellschaftlichen Herausforderungen sowie die Erfordernisse, die durch moderne Erkundungsmethoden zur Verfügung stehenden umfassenden Datenmengen mit modernen Verfahren zu interpretieren und entsprechend der "Open Science" Strategie der Bundesregierung und gegebenenfalls der EU-INSPIRE Richtlinie zu veröffentlichen, macht eine Neufokussierung der GBA notwendig.

Vor diesem Hintergrund wurde für den Zeithorizont bis 2025 die oben beschriebene Vision für die Entwicklung der GBA zu einem modernen und unabhängigen Daten-, Informations-, Kompetenz- und Kommunikationszentrum für die Geologie Österreichs vorgelegt. Ebenso wurden Grundsätze für die Fokussierung auf gesellschaftsrelevante Themen im Bereich der Angewandten Geowissenschaften in Programm-/Modulform ausgearbeitet. Damit soll den aktuellen gesellschaftlichen Bedürfnissen in Bezug auf zahlreiche Themen der Basisversorgung der Bevölkerung entsprochen und die Leistungsfähigkeit der Institution nachhaltig gestärkt werden.

Welche konkreten Leistungen und Produkte die Geologische Bundesanstalt im Zuge der Umsetzung der vorgestellten Vision in Zukunft anbieten kann, wurde in Form von drei Ressourcen-basierten Szenarien ausgearbeitet und dem Ministerium zur Entscheidungsfindung vorgelegt. Im Mai 2017 wurde mit der Umsetzung der Grundzüge der Strategie begonnen.

#### Literatur

APCC – AUSTRIAN PANEL ON CLIMATE CHANGE (2014): Zusammenfassung für Entscheidungstragende (ZfE). – In: APCC: Österreichischer Sachstandsbericht Klimawandel 2014 (AAR14), 27–44, Austrian Panel on Climate Change (APCC), Wien (Verlag der Österreichischen Akademie der Wissenschaften).

BMWFW – BUNDESMINISTERIUM FÜR WISSENSCHAFT, FORSCHUNG UND WIRTSCHAFT (2015): Wissenschaft und Gesellschaft im Dialog "Responsible Science". – 72 S., Wien. https://wissenschaft.bmwfw.gv.at/fileadmin/user\_upload/ wissenschaft/publikationen/forschung/Langfassung\_BM-WFW\_Broschuere\_zu\_Responsible\_Science\_bf.pdf (abgerufen am 02.05.2017).

BMWFW – BUNDESMINISTERIUM FÜR WISSENSCHAFT, FORSCHUNG UND WIRTSCHAFT (2017): Die Österreichische Rohstoffstrategie. –

https://www.bmwfw.gv.at/EnergieUndBergbau/Rohstoffstrategie/Seiten/default.aspx (abgerufen am 04.05.2017).

BUNDESKANZLERAMT (2011): Der Weg zum Innovation Leader. – 49 S., Wien.

https://www.bka.gv.at/DocView.axd?CobId=42655 (abgerufen am 02.05.2017).

- EUROGEOSURVEYS (2014): EuroGeoSurveys Strategy Task Force: The EuroGeoSurveys Vision towards a Geological Service for Europe. – 23 S., Brussels.
- GILL, J.C. (2016): Geology and the Sustainable Development Goals. – Episodes, **40**/1, Nottingham.
- STEWART, I.A. & GILL, J.C. (2017): Social Geology Integrating Sustainability Concepts into Earth Sciences. – Proceedings of the Geologists' Association, **128**/2, 165–172, Middlesex, New Jersey.

https://doi.org/10.1016/j.pgeola.2017.01.002

- STREICHER, W., SCHNITZER, H., TITZ, M., TATZBERGER, F., HEIMRATH, R., WETZ, I., HAUSBERGER, S., HAAS, R., KALT, G., DAMM, A., STEININGER, K. & OBLASSER, S. (2010): Energieautarkie für Österreich bis 2050. – Feasibility Studie, Endbericht im Auftrag des Klima- und Energiefonds (KLIEN), Innsbruck, Dezember 2010, 13 S., Innsbruck.
- WEBER, L. (Hrsg) (2012): Der Österreichische Rohstoffplan. Archiv für Lagerstättenforschung der Geologischen Bundesanstalt, **26**, 263 S., Wien.

## Multithematische Geologische Karte von Österreich 1:1 Million

Die ArcGIS Online Web Mapping Application "Multithematische Geologische Karte von Österreich 1:1 Million" beruht auf einer Weiterentwicklung des Datensatzes, der aus einer in SCHUSTER et al. (2015) publizierten Karte mit dem Titel "Geologische Übersichtskarte der Republik Österreich 1:1.500.000 (ohne Quartär)" abgeleitet wurde.

Die Legendenausscheidungen dieser Karte beziehen sich auf Lithologien, also auf Gesteinsarten und (maßstabsentsprechend) auf Gesteinsassoziationen, die den geologischen Untergrund aufbauen. In den Legendentexten sind auch die jeweiligen erdgeschichtlichen Bildungsalter dieser Gesteine angeführt.

Als ein über die Printversion hinausgehendes Feature können die post-mitteleozän angelegten Sedimentbecken in der Web Map wahlweise ausgeblendet werden, wobei dann die im Untergrund dieser Sedimente befindlichen Gesteinseinheiten dargestellt sind (Abb. 1).

#### HANS GEORG KRENMAYR (1)

Die im Bereich des Blattschnittes liegenden lithotektonischen Einheiten sind in mehreren hierarchischen Ebenen, bis auf die Ebene der "Deckensysteme" (z.B. das Juvavische Deckensystem als Teil des Oberostalpins, als Teil des Ostalpins, als Teil des Alpidischen Orogens) dargestellt. Als Grundlage dafür dienten insbesondere die Arbeiten von TOLLMANN (1976) und SCHMID et al. (2004, 2013).

Ein Info-Button ermöglicht die rasche Identifizierung jedes einzelnen Polygons, auch bei ausgeblendeter Legende. Durch den Einsatz eines Filter-Tools können beliebige Legendenausscheidungen (egal, ob auf die lithologisch-geologische oder lithotektonischen Ebenen bezogen) isoliert

Abb. 1.

Screenshot der ArcGIS Web Mapping Application "Multithematische Geologische Karte von Österreich 1:1 Million" von der Ebene der Geologie-Polygone (Lithologie und Alter), Quartär und post-mitteleozäne Sedimentbecken abgedeckt.



(1) Geologische Bundesanstalt, Neulinggasse 38, 1030 Wien. hans-georg.krenmayr@geologie.ac.at

dargestellt werden. Dieses Tool eignet sich z.B. hervorragend für die individuelle Gestaltung von didaktisch hochwertigen Unterrichtsmaterialien.

Erstmalig werden in der Web Map für den gegenständlichen Raum, zu den im Kartenbild eingetragenen Störungen, bestimmte Informationen zur Verfügung gestellt, wie der Name der Störung und ihre Einordnung in ein an der Geologischen Bundesanstalt neu geschaffenes Datenmodell für die hierarchische Klassifikation von Störungen.

Als künftige thematische Erweiterung wird an der räumlichen Visualisierung des variszischen, permischen und des kretazischen Metamorphose-Ereignisses gearbeitet. Dafür werden die Polygone der geologisch-lithologischen Basiskarte, folgend den Publikationen von OBERHÄNSLI et al. (2004), SCHUSTER & STÜWE (2008) und SCHUSTER et al. (2015), mit dem Metamorphosegrad (der metamorphen Fazies) während des jeweiligen Metamorphose-Ereignisses attribuiert. Die sich so ergebenden Großpolygone der metamorphen Fazies können dann in, auf das Metamorphose-Alter bezogenen, thematischen Ebenen betrachtet werden.

Die neue Webapplikation entstand unter Mitwirkung mehrerer Fachabteilungen und Personen der Geologischen Bundesanstalt. Besonders hervorzuheben sind dabei Ralf Schuster für die fachlichen Inhalte sowie Johannes Reischer für die Gestaltung der Webapplikation.

#### Literatur

- OBERHÄNSLI, R., BOUSQUET, R., ENGI, M., GOFFE, B., GOSSO, G., HANDY, M., KOLLER, F., LARDEAUX, J.M., POLINO, R., ROSSI, P., SCHUSTER, R., SCHWARTZ, S., SPALLA, I.E., AGARD, P., BABIST, J., BERGER, A., BERTLE, R., BUCHER, S., BURRI, T., HEITZMANN, P., HOINKES, G., JOLIVET, L., KELLER, L., LINNER, M., LOMBARDO, B., MARTINOTTI, G., MICHARD, A., PESTAL, G., PROYER, A., RANTISCH, G., ROSENBERG, C., SCHRAMM, J., SÖLVA, H., THÖNI, M. & ZUCALI, M. (2004): Metamorphic structure of the Alps 1:1.000.000. – CGMW, Paris.
- SCHMID, S.M., FÜGENSCHUH, B., KISSLING, E. & SCHUSTER, R. (2004): Tectonic map and overall architecture of the Alpine orogen. – Eclogae geologicae Helvetiae, 97, 93–117, Basel.
- SCHMID, S.M., SCHARF, A., HANDY, M.R. & ROSENBERG, C.L. (2013): The Tauern Window (Eastern Alps, Austria) – A new tectonic map, cross-sections and tectonometamorphic synthesis. – Swiss Journal of Geosciences, **106**, 1–63, Basel.
- SCHUSTER, R. & STÜWE, K. (2008): Permian metamorphic event in the Alps. – Geology, **36**, 603–606, Washington, D.C.
- SCHUSTER, R., DAURER, A., KRENMAYR, H.G., LINNER, M., MANDL, G.W., PESTAL, G. & REITNER, J.M. (2015): Rocky Austria. Geologie von Österreich – kurz und bunt. – 4. Auflage, 80 S., Geologische Bundesanstalt, Wien.
- TOLLMANN, A. (1976): Der Bau der Nördlichen Kalkalpen: Orogene Stellung und regionale Tektonik. – 449 S., Wien (Deuticke).

## Vom Traunstein zum Dachstein – Geologie im Querschnitt

Ein geologischer Querschnitt von Gmunden durch das Trauntal bis ins Dachsteingebirge ist gleichzeitig ein thematischer Querschnitt durch eine breite Palette erdwissenschaftlicher Teildisziplinen. Neben dem geologischen Bauplan soll vorweg auch diese Themenvielfalt kurz aufgezeigt werden, sie spiegelt sich sowohl in der Erforschungsgeschichte als auch im Tagungsprogramm wider.

#### **Thematischer Querschnitt**

Als 1850, ein Jahr nach der Gründung der k. k. Geologischen Reichsanstalt, die systematische geologische Aufnahme Österreichs begonnen wurde, war das Salzkammergut eine von sechs "Sectionen", in welchen – noch vor einer flächigen Kartierung – anhand von "Durchschnitten" die wichtigsten Gesteine und deren Beziehungen zueinander studiert werden sollten. Der "zeitliche Geologe" Friedrich Simony wurde als Chefgeologe dieser "Section Nr. V" mit der Bearbeitung betraut, da er sich in dieser Region seit Jahren als Naturforscher betätigte (MANDL & LOBITZER, 2013). Hatten sich die frühesten geologischen Untersuchungen hauptsächlich auf die Salzlagerstätten konzentriert, wurde mit Simonys Arbeiten das Themenspektrum deutlich erweitert.

Simonys erste große Alpentour hatte ihn 1840 in das Salzkammergut geführt, um zur damals in der Schweiz aufgestellten Hypothese einer vorgeschichtlichen Eiszeit in den Alpen eigene Erfahrungen an den rezenten Dachsteingletschern zu sammeln. Er wurde in den Folgejahren zum Beobachter und Chronisten des Maximalstandes der "kleinen Eiszeit" und deren Rückzugsstadien nach 1850. Er studierte den eiszeitlichen Formenschatz in der Landschaft und wurde so zum Mitbegründer der Quartärforschung in den Kalkalpen. Sein Nachfolger auf dem Lehrstuhl für physikalische Geographie der Universität Wien, ALBRECHT PENCK, schuf zusammen mit EDUARD BRÜCKNER in der dreibändigen Monografie "Die Alpen im Eiszeitalter" 1909 u.a. eine erste umfassende Darstellung der quartären Geschichte des Trauntales. Unser heutiger Kenntnisstand beruht auf den fläGERHARD W. MANDL (1)

chendeckenden Detailkartierungen von DIRK VAN HUSEN (1977, 2000) und systematischen palynologischen Untersuchungen durch ILSE DRAXLER (1977) im Zuge der Neuaufnahmen für die Kartenblätter Gmunden und Bad Ischl. Auf Grund dieser Ergebnisse wurde das Trauntal von der Subkommission für Europäische Quartärstratigraphie der INQUA als Typregion für das Würm-Spätglazial ausgewählt. Beiträge im weiteren Umfeld der Quartär-Thematik siehe Vortrag BICHLER et al. (2017) und Poster PALZER-KHOMENKO et al. (2017).

Als vielseitig Interessierten reizten Simony auch die angeblich unergründlichen Tiefen der Alpenseen. Mit einem raffinierten, selbstgebauten Senklot vermaß er vom Ruderboot aus die Wassertiefen und fertigte die ersten Tiefenlinienpläne der Salzkammergutseen an, ein früher Beitrag zur **Unterwassertopografie** – siehe dazu Beiträge von STRASSER (2017) und HEINE (2017).

Simony lieferte Beiträge zur **Hydrogeologie** durch seine Klimaaufzeichnungen und Temperaturmessungen an Quellen und Seen, er untersuchte auch die warmen Quellen am Ufer des Hallstätter Sees. Im Zusammenhang mit den Karstphänomenen des Dachsteingebirges beschäftigte er sich auch mit der Kalklösung und der **Höhlenentstehung**. Beide Themen behandeln auch PLAN et al. (2017) und SCHUBERT (2017).

Durch seine Bekanntschaft mit dem Bergmeister Johann Georg Ramsauer dokumentierte SIMONY (1850) die eben entdeckten prähistorischen Funde am Hallstätter Salzberg in einer Reihe von Grafiken für die Akademie der Wissenschaften. Dies stellt den Beginn der **archäologischen Forschung** am Hallstätter Salzberg dar, die bis heute vom Naturhistorischen Museum Wien weitergeführt wird – vgl. RESCHREITER et al. (2017a, b).

Vom Hallstätter Salzberg stammten auch große Teile der **Ammonitensammlung**, die Simony für die Privatsammlung des Staatskanzlers Metternich zusammenstellte. Deren wissenschaftliche Bearbeitung durch FRANZ VON HAUER (1846) markiert den Beginn der **paläontologischen Forschung in Österreich**. Obwohl Simony bis zum Antritt seines neu geschaffenen Lehrstuhls für Geographie an

<sup>(1)</sup> Geologische Bundesanstalt, Neulinggasse 38, 1030 Wien. gerhard.mandl@geologie.ac.at

der Universität Wien nur kurz für die k. k. Geologische Reichsanstalt tätig war, sammelte er im Sommer 1850 eine große Kollektion an Fossilien und Gesteinsproben (45 Kisten im Gesamtgewicht von ca. 2.800 kg), die einen wesentlichen Grundstock für die beginnende litho- und biostratigrafische Gliederung der Kalkalpen durch nachfolgende Geologen bildeten. So setzte EDMUND VON Mojsisovics mit seiner mehrbändigen Monografie "Das Gebirge um Hallstatt" zwischen 1873 und 1902 Hauers Ammonitenforschung fort und schuf damit nicht nur wichtige Grundlagen für die biostratigrafische Gliederung der Alpinen Trias, sondern auch für die Internationale Geologische Zeitskala. Die jüngsten Aktivitäten zur Definition der Basis der Rhätischen Stufe am Hallstätter Steinbergkogel unterstreichen die internationale Bedeutung dieser Arbeiten und dieser Region siehe Beitrag KRYSTYN (2017).

Ein Spezialzweig der paläontologischen und petrografischen Methoden, die mikroskopische Untersuchung von Gesteinsdünnschliffen, wurde in den Alpen erstmals von KARL PETERS (1863) an Gesteinen aus dem Echerntal bei Hallstatt angewendet. Diese Methode erlebte in jüngerer Vergangenheit einen ihrer Höhepunkte in der **Karbonatfazies-Forschung** der "Erlanger Schule" unter Erik Flügel, beispielsweise in deren Beiträgen über die Dachsteinriffe (Hochkönig, Gosaukamm etc.) und gipfelte in einem **internationalen Standardwerk** für Mikrofazies – FLÜGEL (2004). Als Beispiel für praktische Anwendungen siehe MOSHAMMER (2017a, b).

Durch die mikroskopischen Gesteinsuntersuchungen wurde auch der praktische Nutzen der Mikrofossilien deutlich, da diese wesentlich häufiger im Gestein zu finden sind als Makrofossilien. Damit werden auch kleine Gesteinsproben wie Bohrkerne oder Bohr-Cuttings biostratigrafisch datierbar und faziell interpretierbar (wichtig zur räumlichen und zeitlichen Orientierung bei Erdöl/ Erdgas-Bohrungen). Eine ganze Reihe an Organismengruppen wurden von zahlreichen Autoren aus den Gesteinen des Salzkammerguts erstbeschrieben, wobei den Conodonten besondere Bedeutung zukommt. Ihre weltweite Korrelation mit den Ammonitenfaunen liefert heute das Standardwerkzeug der Triasstratigrafie – siehe dazu ebenfalls KRYSTYN (2017).

EDMUND VON MOJSISOVICS hatte parallel zu seiner Ammoniten-Monografie "Das Gebirge um Hallstatt" gemeinsam mit Alexander Bittner auch die Geologische Spezialkarte 1:75.000 Blatt Ischl und Hallstatt (1905) erstellt, dabei aber mit unerwarteten Problem zu kämpfen. So schreibt er schon 1873 auf Seite III: "Hier spottet die Natur der in anderen Gegenden mit Erfolg angewendeten Beobachtungsmethoden; combinative und deductive Schlüsse, welche auf wohlbeobachteten Daten beruhen, sind hier ausgeschlossen, denn nichts scheint die Regel zu sein, als der Wechsel der schneidendsten Gegensätze". Die Schwierigkeiten lagen in dem "…jähen Fazieswechsel ganzer Schichtreihen auf räumlich sehr beschränktem Gebiet..." wobei er aber von "...kaum in Anschlag zu bringenden Lagerungsstörungen..." ausging. Mit letzterer Auffassung unterschätzte er den Einfluss der Tektonik dermaßen, dass ihm ein Verständnis der tatsächlichen geologischen Struktur verschlossen bleiben musste.

Erst als mit dem Internationalen Geologenkongress 1903 das Konzept der Deckentektonik vorgestellt und in den Folgejahren auch auf die Kalkalpen angewendet wurde, erschienen viele bisher unerklärliche Beobachtungen in neuem Licht. So war die Geologische Karte des Hallstätter Salzberges von ERICH SPENGLER (1919) und ihre deckentektonische Deutung ein wichtiger nächster Schritt zum Verständnis der komplexen geologischen Strukturen. Seine Ergebnisse fanden auch Eingang in die Geologische Karte der Dachsteinregion von GANSS et al. (1954). Wie bei der Etablierung eines neuen wissenschaftlichen Paradigmas sehr häufig, kam es auch bei der deckentektonischen Interpretation des geologischen Bauplans des Salzkammerguts zu gegensätzlichen Auffassungen und heftigen Disputen, die z.T. bis heute noch nicht zur Gänze ausgeräumt sind. Spengler Ansichten wurden von LEOPOLD KOBER (z.B. 1935) regelrecht bekämpft, später suchten seine Schüler – im Salzkammergut vor allem WALTER MEDWENITSCH (z.B. 1958) und ALEXANDER TOLLMANN (z.B. 1960) – Kobers Ansichten zu untermauern. In der Folgezeit führten Detailuntersuchungen zahlreicher Bearbeiter dazu, dass einmal die eine, dann wieder die andere "Schule" ihre Ansichten wahrscheinlicher machen konnte. Im Gosaukammgebiet entwickelte WOLFGANG SCHLAGER (1967) im Gegensatz zu allen Deckenbaumodellen erneut die Vorstellung von relativ ortsgebundenen Bereichen mit Hallstätter Gesteinen innerhalb der Kalkalpen. Der daraufhin folgende Konflikt mit Tollmann führte dazu, dass eine ganze Reihe an Dissertationskartierungen zur Klärung strittiger Gebiete initiiert wurde, so im Raum Bad Goisern-Raschberg durch Ulrike Weigert(-Pistotnik) und am Hallstätter Salzberg durch Gerhard Schäffer. Gleichzeitig wurden auch die klassischen Ammonitenfaunen, ihre Fundpunkte und ihre Korrelation mit der Conodontenstratigrafie durch Leopold Krystyn untersucht. All diese Arbeiten flossen in die Geologische Karte 1:50.000, Blatt 96 Bad Ischl von SCHÄFFER (1982) ein. Als wesentliche Neuerung war er durch seine Geländebefunde zur Auffassung schon jurassisch einsetzender Deckenbewegungen gekommen, ein Modell, welches er 1976 bei einer Arbeitstagung in Bad Ischl vorstellte – SCHÄFFER (1976). Der frühe Zeitpunkt (Pliensbachium) der Bewegungen und die von Nord gegen Süd gerichtete Überschiebung von Dachstein-Decke und Totes-Gebirge-Decke über die Hallstätter "Zone" schienen Tollmann unvereinbar mit den Gegebenheiten im östlich anschließenden Raum Bad Mitterndorf. Die Ergebnisse der von Tollmann angeregten Arbeiten von GERHARD W. MANDL (1982, 1984a, b) brachten für ihn eine Klärung dieser Fragen und wurden von ihm in seiner Geologie von Österreich, Band 2 (TOLLMANN, 1985) übernommen. Damit schien der geologische Bau des Salzkammerguts weitgehend geklärt.

Das Fortschreiten der geologischen Landesaufnahme auf das Kartenblatt GK127 Schladming (Karte: MANDL & MATURA, 1995; Erläuterungen: MANDL et al., 2014) und insbesondere auf das Nachbarblatt 128 Gröbming (In: MANDL, 2001) ließen wieder Zweifel an der Tollmann'schen Darstellung aufkommen, speziell an der Abgrenzung der Dachstein-Decke im Raum Bad Mitterndorf. Die Thermalwasserbohrung der Grimmingtherme brachte keine Argumente für Tollmanns Deckengrenze – SCHMIDT et al. (2003).

Schließlich führten u.a. die mikropaläontologischen Untersuchungen zur Radiolarienstratigrafie jurassischer Gesteine durch HANS-JÜRGEN GAWLICK und Mitarbeiter nicht nur zu einer verbesserten biostratigrafischen Einstufung, sondern zuletzt auch zu völlig **neuen tektonischen Konzepten** (z.B. GAWLICK & FRISCH, 2003; GAWLICK et al., 2007; MISSONI & GAWLICK, 2011). Auch diese neuen Konzepte blieben in manchen Teilen nicht ohne Widerspruch (z.B. MANDL, 2013), haben aber plattentektonische Ansätze in die Diskussion eingebracht.

Derzeit wird an der Geologischen Bundesanstalt an einer **Neufassung der Kalkalpinen Deckensysteme** und Decken gearbeitet, zum Status quo siehe MANDL et al. (2017).

#### **Geologischer Querschnitt**

Der Gesamtquerschnitt vom Traunstein zum Dachstein wird als Poster präsentiert (MANDL, 2017). Aufgrund der Länge des Schnittes werden hier aus Platzgründen nur ausgewählte Abschnitte dargestellt und behandelt.

Abb. 1.

Geologischer Schnitt durch den Gschliefgraben nach PREY (1983: Abb. 4), Farben ergänzt.



Am Nordfuß des Traunsteins treten im Gschliefgraben (Abb. 1) bunte Mergel zutage, die bereits von alters her bekannt und als Gosau angesehen worden waren. Erst RICHTER & MÜLLER-DEILE (1940) erkannten, dass diese Gesteine dem Helvetikum zuzuordnen sind und als tektonisches Fenster zwischen Flyschzone und Kalkalpen an die Oberfläche kommen. Siegmund Prey führte dann über Jahre hinweg detaillierte Untersuchungen durch, zusammenfassend publiziert in PREY (1983). Die von ihm als "Kalkofen-Zug" benannte Gesteinsabfolge am Südrand des Fensters ist in ihrer tektonischen Stellung problematisch: sollte es sich bei den Gipsen um permisches Haselgebirge handeln, ist eine Zugehörigkeit zu den Kalkalpen wahrscheinlich; sollte es sich um obertriassische Keupergipse handeln, könnten die Abfolge eine Klippe des Tatrikums darstellen (PREY, 1983: 113). Auf Preys Kartierung beruht auch die Darstellung des Gschliefgrabens auf der Geologischen Karte 1:50.000, Blatt 66 Gmunden. Schon zu Beginn seiner Arbeiten (PREY, 1951: 263) erwähnte er "zahlreiche Rutschungen und gletscherähnlich zu Tal fließende blockbeladene Murströme", Massenbewegungen, die bis in die Gegenwart immer wieder aktiv werden. Diesem Thema sind die Vorträge und die Exkursion am vierten Tag der Tagung gewidmet.

Bei **Bad Ischl** wird der Grenzbereich der Tirolischen Staufen-Höllengebirge-Decke zum Juvavischen Deckensystem erreicht (Abb. 2). Der **Steinbruch Starnkogel** (MOSHAMMER, 2017a, b) liegt noch in Obertriasgesteinen des Tirolikums, die gegen Südwesten unter die juvavische Scholle des Jainzen abtauchen. Der Grenzbereich ist allerdings im gesamten Raum Bad Ischl durch Gesteine der Gosau-Gruppe verdeckt. Das Grundprinzip des tektonischen Bauplans wird erst in den Bohrungen der Salinen Austria AG sichtbar. Die Plassenkalk-Scholle des Jainzen und die Hallstätter Gesteine des Siriuskogels lagern auf Werfen-Formation und auf Salz führendem Haselgebirge auf. Darunter folgen mit tektonischer Grenze unterkretazische Schrambach- und Rossfeldschichten und mächtiger oberjurassischer Tressensteinkalk des Tirolikums. Dieses, durch das Sondenfeld Sulzbach wirtschaftlich genutzte Haselgebirge gehört damit einem höheren tektonischen Stockwerk an (Ischl-Scholle, MANDL et al., 2012: 26f.) als der südlich angrenzende, bergmännisch erschlossene Ischler Salzberg der Goisern-Aussee-Decke (op. cit.), deren Platznahme schon wesentlich früher, im Oberjura, über Kieselgesteinen der Radiolarit-Gruppe erfolgt war. Details mit zusätzlichen Kärtchen und Profilschnitten dazu, siehe MANDL et al. (2012: Tafel 1, 2) und MANDL (2013: Abb. 1, 2, 7). Der Steinbruch Starnkogel ist nur eines von mehreren Beispielen zum Thema Rohstoffgeologie, die im Rahmen der Tagung vorgestellt werden.

Abb. 2.





Das Tirolikum mit seiner bis in die unterkretazischen Rossfeldschichten reichenden Schichtfolge und die teils jurassisch eingebundenen (Goisern-Aussee-Decke), teils kretazisch auflagernden Juvavischen Bauelemente (Ischl-Schollen) werden von der **Dachstein-Decke** tektonisch überlagert.

Durch jüngere Nachbewegungen (vermutlich in Zusammenhang mit der Seitenverschiebung an der Königssee-Lammertal-Traunsee-Störung) sind an der Deckenstirn im Ischltal auch die Gesteine der Gosau-Gruppe sekundär noch deformiert und randlich überschoben. Aufgrund dieser Lagerungsbeziehung wurde von KOBER, MEDWENITSCH und anfänglich auch von TOLLMANN (alle op. cit.) vermutet, dass die Hallstätter Kalke um den Plassen in einem tektonischen Fenster innerhalb der Dachstein-Decke aus deren Unterlagerung heraufragen. Aus dieser Zeit stammen auch die Bezeichnungen Tiefjuvavikum für eine zusammenhängende Hallstätter Decke und Hochjuvavikum für die auflagernde Dachstein-Decke. Diese Bezeichnungen wurden obsolet, sobald die Salzberg-Schollen um den Plassen als Deckschollen auf der Dachstein-Decke (Abb. 3) erkannt wurden. Sie sind damit Äquivalente zu den Schollen am Sarstein und im Mitterndorfer Becken. Für diese Auflagerung auf der Dachstein-Decke spricht auch die Bohrung (BHNU) im Hallstätter Salzberg, die unter dem Haselgebirge jurassische Kieselgesteine erreicht hat – vgl. SUZUKI & GAWLICK (2006, 2009). Details zum Haselgebirge und aktuelle Vorstellungen zum Bau der Salzlagerstätten präsentieren die Vorträge von NEUBAUER et al. (2017) und LEITNER & MAYR (2017).

Das Zusammentreffen von plastisch mobilen Evaporiten in tonreicher Matrix mit überlagernden starren Karbonatgesteinen prädestiniert auch das Innere Salzkammergut für Massenbewegungen unterschiedlicher Dimensionen und Versagensmechanismen – siehe dazu auch LOTTER & ROHN (2012).

Der dritte Tag dieser Arbeitstagung ist daher zur Gänze dem Thema Naturgefahren im Raum Hallstatt mit Vorträgen und Exkursionen gewidmet (MELZNER et al., 2017). Dabei wird auch der Einsatz geophysikalischer Methoden vorgestellt und ein breiter Bogen von prähistorischen Katastrophen (RESCHREITER et al., 2017) bis zum rezenten Gefahrenpotenzial gespannt.

#### Abb. 3.





#### Literatur

- BICHLER, M., REITNER, J.M., LOTTER, M., SCHOBER, A. & PAL-ZER-KHOMENKO, M. (2017): Eine gleiche Terminologie im Quartär und bei Massenbewegungen. – Tagungsband zur Arbeitstagung der GBA 2017, 56–61, Wien.
- EGGER, H. & HUSEN VAN, D. (2007): Erläuterungen zur Geologischen Karte der Republik Österreich 1:50.000, Blatt 66 Gmunden. – 66 S., Geologische Bundesanstalt, Wien.
- FLÜGEL, E. (2004): Microfacies of Carbonate Rocks: Analysis, Interpretation and Application. – 976 S., Berlin (Springer).
- GANSS, O., KÜMEL, F., NEUMANN, G. & SPENGLER, E. (1954): Geologische Karte der Dachsteingruppe 1:25.000 mit Erläuterungen – Wissenschaftliche Alpenvereinshefte, **15**, 82 S., Innsbruck (Wagner).
- GAWLICK, H.-J. & FRISCH, W. (2003): The Middle to Late Jurassic carbonate clastic radiolaritic flysch sediments in the Northern Calcareous Alps: sedimentology, basin evolution, and tectonics – an overview. – Neues Jahrbuch für Geologie und Paläontologie: Abhandlungen, **230**/2–3, 163–213, Stuttgart.
- GAWLICK, H.-J., SCHLAGINTWEIT, F. & SUZUKI, H. (2007): Die Ober-Jura bis Unter-Kreide Schichtfolge des Gebietes Höherstein–Sandling (Salzkammergut, Österreich). Implikationen zur Rekonstruktion des Block-Puzzles der zentralen Nördlichen Kalkalpen, der Gliederung der Radiolaritflyschbecken und der Plassen-Karbonatplattform. – Neues Jahrbuch für Geologie und Paläontologie: Abhandlungen, **243**/1, 1–70, Stuttgart.
- HAUER, F. V. (1846): Die Cephalopoden des Salzkammergutes aus der Sammlung seiner Durchlaucht des Fürsten von Metternich. Ein Beitrag zur Paläontologie der Alpen. – 48 S., Wien (in Commission bei Braumüller & Seidel).
- HEINE, E. (2017): Hydrographische Vermessungen in Seen/Hallstätter See. – Tagungsband zur Arbeitstagung der GBA 2017, 285–286, Wien.
- HUSEN VAN, D. (1977): Zur Fazies und Stratigraphie der jungpleistozänen Ablagerungen im Trauntal. – Jahrbuch der Geologischen Bundesanstalt, **120**/1, 1–130, Wien.
- HUSEN VAN, D. (2000): Geological Processes during the Quaternary. – In: NEUBAUER, F. & HÖCK, V. (Eds.): Aspects of Geology in Austria. – Mitteilungen der Österreichischen Geologischen Gesellschaft, **92**, 135–156, Wien.
- KOBER, L. (1935): Die Hallstätter Decken. Verhandlungen der Geologischen Bundesanstalt, **1935**, 82–83, Wien.
- KRYSTYN, L. (2017): Definition der internationalen Rhätium-Basis (GSSP) am Steinbergkogel bei Hallstatt – Status Quo. – Tagungsband zur Arbeitstagung der GBA 2017, 253, Wien.
- LEITNER, T. & MAYR, M. (2017): Die Salinen Austria AG und die Geologie ihrer Salzlagerstätten im Salzkammergut. – Tagungsband zur Arbeitstagung der GBA 2017, 80–85, Wien.
- LOTTER, M. & ROHN, J. (2012): Geogene Naturgefahren, Ingenieurgeologie. – In: MANDL, G.W., HUSEN VAN, D. & LOBITZER, H.: Erläuterungen zur Geologischen Karte 1:50.000, Blatt 96 Bad Ischl, 135–151, Geologische Bundesanstalt, Wien.
- MANDL, G.W. (1982): Jurassische Gleittektonik im Bereich der Hallstätter Zone zwischen Bad Ischl und Bad Aussee (Salzkammergut, Österreich). – Mitteilungen der Gesellschaft der Geologie- und Bergbaustudenten Österreichs, 28, 55–76, Wien.

- MANDL, G.W. (1984a): Zur Trias des Hallstätter Faziesraumes ein Modell am Beispiel Salzkammergut (Nördliche Kalkalpen, Österreich). – Mitteilungen der Gesellschaft der Geologieund Bergbaustudenten Österreichs, **30/31**, 133–176, Wien.
- MANDL, G.W. (1984b): Zur Tektonik der westlichen Dachsteindecke und ihres Hallstätter Rahmens (Nördliche Kalkalpen, Österreich). – Mitteilungen der Österreichischen Geologischen Gesellschaft, **77**, 1–31, Wien.
- MANDL, G.W. (2001): Geologie der Dachsteinregion. In: SCHEIDLEDER, A., BOROVICZENY, F., GRAF, W., HOFMANN, T., MANDL, G.W., SCHUBERT, G., STICHLER, W., TRIMBORN, P. & KRALIK, M.: Pilotprojekt "Karstwasser Dachstein". Band 2: Karsthydrologie und Kontaminationsrisiko von Quellen. – Archiv für Lagerstättenforschung, 21 und Monographien, **108**, 13–37, Geologische Bundesanstalt und Umweltbundesamt, Wien.
- MANDL, G.W. (2013): Zur Geologie des Raumes Hütteneckalm Sandlingalm – Blaa-Alm (Salzkammergut, Österreich) mit kritischen Anmerkungen zur Sandlingalm-Formation. – Jahrbuch der Geologischen Bundesanstalt, **153**, 33–74, Wien.
- MANDL, G.W. (2017): Geologische Profilschnitte durch das Salzkammergut – vom Traunstein zum Dachstein (Ostalpen, Österreich). – Tagungsband zur Arbeitstagung der GBA 2017, 206–207, Wien.
- MANDL, G.W. & LOBITZER, H. (2013): Die frühen Jahre des Dachsteinpioniers Friedrich Simony (1813–1896). – Berichte der Geologischen Bundesanstalt, **102**, 130 S., Wien.
- MANDL, G.W. & MATURA, A. (1995): Geologische Karte der Republik Österreich 1:50.000, Blatt 127 Schladming. – Geologische Bundesanstalt, Wien.
- MANDL, G.W., HUSEN VAN, D. & LOBITZER, H. (2012): Erläuterungen zur Geologischen Karte der Republik Österreich 1:50.000, Blatt 96 Bad Ischl. – 215 S., Geologische Bundesanstalt, Wien.
- MANDL, G.W., HEJL, E. & HUSEN VAN, D. (2014): Erläuterungen zur Geologischen Karte der Republik Österreich 1:50.000, Blatt 127 Schladming. – 191 S., Geologische Bundesanstalt, Wien.
- MANDL, G.W., BRANDNER, R. & GRUBER, A. (2017): Zur Abgrenzung und Definition der Kalkalpinen Deckensysteme (Ostalpen, Österreich). – Tagungsband zur Arbeitstagung der GBA 2017, 254–255, Wien.
- MEDWENITSCH, W. (1958): Die Geologie der Salzlagerstätten Bad Ischl und Alt-Aussee (Salzkammergut). – Mitteilungen der Geologischen Gesellschaft in Wien, **50** (1957), 133–200, Wien.
- MELZNER, S. (2017a): Steinschlag- und Felssturzdisposition im Dachsteinkalk – Versagensmechanismen und Reichweiten.
  – Tagungsband zur Arbeitstagung der GBA 2017, 126–131, Wien.
- MELZNER, S. (2017b): Exkursion 1A: Rutschungs- und Felssturzpotenzial am Plassen. – Tagungsband zur Arbeitstagung der GBA 2017, 318–325, Wien.
- MELZNER, S., MOSER, M., OTTOWITZ, D., OTTER, J., LOTTER, M., MOTSCHKA, K., IMREK, E., WIMMER-FREY, I., ROHN, J. & PREH, A. (2017): Multidisziplinäre Grundlagenerhebung als Basis für die Implementierung eines Monitoringsystems am Plassen. – Tagungsband zur Arbeitstagung der GBA 2017, 140–146, Wien.

MISSONI, S. & GAWLICK, H.-J. (2011): Jurassic mountain building and Mesozoic-Cenozoic geodynamic evolution of the Northern Calcareous Alps as proven in the Berchtesgaden Alps (Germany). – Facies, **57**/1, 137–186, Erlangen.

MOJSISOVICS, E. V. (1873): Das Gebirge um Hallstatt – I. Abtheilung. Die Cephalopoden der Hallstätter Kalke. I. Theil. Die Molluskenfaunen der Zlambach- und Hallstätter-Schichten.
I. Band. – Abhandlungen der k. k. Geologischen Reichsanstalt, 6/I, Heft 1, 1–82, Wien.

MOJSISOVICS, E. V. (1875): Das Gebirge um Hallstatt – I. Abtheilung. Die Cephalopoden der Hallstätter Kalke. I. Theil. Die Molluskenfaunen der Zlambach- und Hallstätter-Schichten.
I. Band (Fortsetzung). – Abhandlungen der k. k. Geologischen Reichsanstalt, 6/I, Heft 2, 83–174, Wien.

MOJSISOVICS, E. V. (1893): Das Gebirge um Hallstatt – I. Abtheilung. Die Cephalopoden der Hallstätter Kalke. II. Band. – Abhandlungen der k. k. Geologischen Reichsanstalt, **6**/II, 835 S., Wien.

MOJSISOVICS, E. V. (1902): Das Gebirge um Hallstatt – I. Abtheilung. Die Cephalopoden der Hallstätter Kalke. I. Band, Supplement. – Abhandlungen der k. k. Geologischen Reichsanstalt, **6**/I, Supplement, 175–356, Wien.

MOJSISOVICS, E. V. (1905): Erläuterungen zur Geologischen Spezialkarte der Österreichisch-Ungarischen Monarchie 1:75.000, Blatt Ischl und Hallstatt. – 60 S., Geologische Reichsanstalt, Wien.

MOSHAMMER, B. (2017a): Die Rolle von Kalkstein, Dolomit und Mergel in der Fachabteilung Rohstoffgeologie der Geologischen Bundesanstalt. – Tagungsband zur Arbeitstagung der GBA 2017, 66–69, Wien.

MOSHAMMER, B. (2017b): Exkursion 1A (20.06.2017): Kalksteinbruch Starnkogel. – Tagungsband zur Arbeitstagung der GBA 2017, 295–305, Wien.

NEUBAUER, F., BERNROIDER, M., LEITNER, C., SCHORN, A., ZIEGLER, T. & GENSER, J. (2017): Die Evaporite des Haselgebirges als metamorphe Gesteine: Bildung, Umwandlung, Gefüge, Alter und Konsequenzen für die Struktur der Nördlichen Kalkalpen. – Tagungsband zur Arbeitstagung der GBA 2017, 29–37, Wien.

PALZER-KOMENKO, M., BICHLER, M., HEGER, H. & BAYER, I. (2017): GBA-Generallegende für Quartär und Massenbewegung. – Tagungsband zur Arbeitstagung der GBA 2017, 210–211, Wien.

РЕNCK, A. & BRÜCKNER, E. (1909): Die Alpen im Eiszeitalter. Band 1–3. – XII + 1199 S., Leipzig (Tauchnitz).

PETERS, K.F. (1863): Über Foraminiferen im Dachsteinkalk. – Jahrbuch der k. k. Geologischen Reichsanstalt, **8**, 293–298, Wien.

PLAN, L., SCHUBERT, G., ELSTER, D. & BERKA, R. (2017): Exkursion 2C (21.06.2017): Dachstein-Mammuthöhle, Karstquelle "Kessel" und Thermalquellen "Warmes Wasser" am Hallstätter See. – Tagungsband zur Arbeitstagung der GBA 2017, 328–335, Wien.

PREY, S. (1951): Der Gschliefgraben in der Flyschzone bei Gmunden. – Mitteilungen der Geologischen Gesellschaft in Wien, 44, 263–266, Wien.

PREY, S. (1983): Das Ultrahelvetikum-Fenster des Gschliefgrabens südöstlich von Gmunden (Oberösterreich). – Jahrbuch der Geologischen Bundesanstalt, **126**, 95–127, Wien. RESCHREITER, H., KOWARIK, K., OTTOWITZ, D., RÖMER, A., ROHN, J., OTTNER, F. & GRABNER, M. (2017a): Alles in Bewegung – Massenbewegungen und der prähistorische Salzbergbau in Hallstatt. – Tagungsband zur Arbeitstagung der GBA 2017, 153–160, Wien.

RESCHREITER, H., OTTOWITZ, D., RÖMER, A. & JOCHUM, B. (2017b): Archäologie im Hallstätter Salzberg. – Tagungsband zur Arbeitstagung der GBA 2017, 326–327, Wien.

RICHTER, M. & MÜLLER-DEILE, G. (1940): Zur Geologie der östlichen Flyschzone zwischen Bergen (ObB.) und der Enns (Oberdonau). – Zeitschrift der Deutschen Geologischen Gesellschaft, **92**, 416–430, Berlin.

SCHÄFFER, G. (1976): Einführung zur geologischen Karte der Republik Österreich, Blatt 96 Bad Ischl. – Arbeitstagung der Geologischen Bundesanstalt, Bad Ischl, 26.–30. Mai 1976, 6–26, Wien.

SCHÄFFER, G. (1982): Geologische Karte der Republik Österreich 1:50.000, Blatt 96 Bad Ischl. – Geologische Bundesanstalt, Wien.

SCHLAGER, W. (1967): Hallstätter und Dachsteinkalk-Fazies am Gosaukamm und die Vorstellung ortsgebundener Hallstätter Zonen in den Ostalpen. – Verhandlungen der Geologischen Bundesanstalt, **1967**, 50–70, Wien.

SCHMID, C.J., MANDL, G.W. & WESSELY, G. (2003): Thermalwasserbohrung Bad Mitterndorf TH1 – ein kalkalpiner Tiefenaufschluss im Steirischen Salzkammergut. – Gmundner Geo-Studien, 2, 255–264, Gmunden.

SCHUBERT, G. (2017): Karstwasser Dachstein. – Tagungsband zur Arbeitstagung der GBA 2017, 86–93, Wien.

SIMONY, F. (1850): Die Alterthümer vom Hallstätter Salzberg und dessen Umgebung. – Beilage zu Sitzungsberichte der Kaiserlichen Akademie der Wissenschaften, Philosophisch-historische Classe, IV (1850), 11 S., Wien.

SPENGLER, E. (1919): Die Gebirgsgruppe des Plassen und Hallstätter Salzberges im Salzkammergut. – Jahrbuch der k. k. Geologischen Reichsanstalt, **68**/3–4, 285–474, Wien.

STRASSER, M. AUFLEGER, M., ERHARDT, M., INNERHOFER, D., MOERNAUT, J., SCHELLHORN, M. & RECHEIS, W. (2017): Seesedimente als geologische Zeugen vergangener extremer Naturereignisse. – Tagungsband zur Arbeitstagung der GBA 2017, 46–50, Wien.

SUZUKI, H. & GAWLICK, H.-J. (2006): Jurassic radiolarians from a borehole reaching the northern base of the Hallstatt salt mine (Northern Calcareous Alps, Austria) – new date to reconstruct the timing of the emplacement of the Alpine Haselgebirge. – PANGEO Austria 2006, 330–331, Innsbruck.

SUZUKI, H. & GAWLICK, H.-J. (2009): Jurassic radiolarians from cherty limestones below the Hallstatt salt mine (Northern Calcareous Alps, Austria). – Neues Jahrbuch für Geologie und Paläontologie: Abhandlungen, **251**/2, 155–197, Stuttgart.

TOLLMANN, A. (1960): Die Hallstätterzone des östlichen Salzkammergutes und ihr Rahmen. – Jahrbuch der Geologischen Bundesanstalt, **103**, 37–131, Wien.

TOLLMANN, A. (1985): Geologie von Österreich. Band II. Außerzentralalpiner Anteil. – XIII + 710 S., Wien (Deuticke).

## Die Evaporite des Haselgebirges als metamorphe Gesteine: Bildung, Umwandlung, Gefüge, Alter und Konsequenzen für die Struktur der Nördlichen Kalkalpen

Franz Neubauer (1), Manfred Bernroider (1), Christoph Leitner (1), Anja Schorn (1), Thomas Ziegler (1) & Johann Genser (1)

#### Kurzfassung

Das permische bis untertriassische Haselgebirge der Nördlichen Kalkalpen stellt eine tektonische Evaporitmélange dar und lässt sich in zwei Grundtypen unterteilen: Steinsalz- und Sulfat dominiertes Haselgebirge. Beide Typen sind mit Blöcken von, für eine Riftzone typischen, schwach metamorphen Alkalimagmatiten neben anderen Metamorphiten assoziiert. Biotite dieser Gesteine zeigen ein thermales Ereignis an der Perm-Trias-Grenze an. Die Evaporite selbst zeigen ausschließlich tektonische bzw. metamorphe, teilweise direkt datierbare Mikrogefüge. Ar-Ar-Datierungen von sekundärem Langbeinit aus Hall ergeben ein Alter von ca. 250 Ma und zeigen damit ebenfalls ein frühes diagenetisch-hydrothermales Ereignis an. Am bedeutendsten ist ein mittel- bis obertriassisches thermales Ereignis, gut erkennbar an Polyhalit in häufigen Extensionsgängen und Ersatzgefügen, die auf eine thermale Reaktivierung des Haselgebirges vermutlich an Abschiebungen bei der Öffnung des Meliata-Ozeans hinweisen. Als vorläufiges Modell wird eine mittel- bis obertriassische "Raft"-Tektonik postuliert, typisch für passive Kontinentalränder mit Evaporiten, in dem das Haselgebirge als Gleithorizont der ozeanwärtig wandernden Sedimenthülle diente. Seltene oberjurassische geschieferte Polyhalite zeigen frühe tektonische Bewegungen an, während das Hauptereignis der verschieferten Polyhalite auf die spätunterkretazische Deckenbewegung zurückzuführen ist. Schließlich lässt sich eine eozäne schwachtemperierte Reaktivierung nachweisen sowie, mittels (U-Th)/He-Datierungen an Apatit, eine obermiozäne Hebung der zentralen Nördlichen Kalkalpen. Die Steinsalzmikrogefüge selbst zeigen hohe Verformungsraten und sind das Produkt neogener bis quartärer Bewegung.

#### Einführung

Innerhalb der Schichtfolgen der Nördlichen Kalkalpen (NKA) spielt das Haselgebirge mit seinen Evaporiten und Tonsteinen eine besondere Rolle. Das oberpermische bis untertriassische Haselgebirge (KLAUS, 1965) bildet in der Regel kissenartige tektonische Körper längs von Deckengrenzen, diente als Gleithorizont bei Deckenbewegungen innerhalb der NKA und wird sehr häufig mit den ju-



(1) Universität Salzburg, Fachbereich Geographie und Geologie, Abteilung Geologie, Hellbrunnerstraße 34, 5020 Salzburg. *franz.neubauer@sbg.ac.at*  vavischen Decken (mit Hallstätter Kalken und Werfener Schichten) in Verbindung gebracht (Abb. 1) und wird seit mindestens 3.500 Jahren zur Steinsalzgewinnung genutzt – siehe z.B. MANDL (1982) und TOLLMANN (1985, 1987).

Nach den auf Bergbauarbeiten basierenden, durch SCHAUBERGER (1986) zusammengefassten Arbeiten hat sich insbesondere Spötl in vielen detaillierten Arbeiten mit verschiedenen Arbeiten zur Sedimentologie und Diagenese des Haselgebirges befasst (z.B. SPÖTL, 1989; SPÖTL & PAK, 1996; Spötl et al., 1996, 1998). Zusätzlich fanden assoziierte basaltische und wenige andere metamorphe Gesteine großes Interesse (z.B. KIRCHNER, 1979, 1980a, b; Vozárova et al., 1999) wie auch der Mineralreichtum (KIRCHNER, 1987; STRASSER, 1989). Das Haselgebirge wurde auch immer wieder als verantwortlich für jurassische Gleittektonik innerhalb der NKA interpretiert (MANDL, 1982; TOLLMANN, 1987; MISSONI & GAWLICK, 2011a, b). In den letzten fünf Jahren wurden im Rahmen des FWF-Projektes "Polyhalit" zahlreiche detaillierte Untersuchungen an den Gefügen der verschiedenen Evaporitminerale (Steinsalz, Polyhalit, Langbeinit, Anhydrit und Gips) an kristallinen magmatischen und metamorphen Gesteinen, die in Form von tektonischen Blöcken innerhalb des Haselgebirges erhalten sind, ausgeführt. Diese Untersuchungen wurden durch umfangreiche Ar-Ar-Altersdatierungen an den Evaporitmineralen Polyhalit und Langbeinit sowie an Biotit und Hellglimmer kristalliner Gesteine und wenige (U-Th)/ He-Datierungen an Apatit ergänzt, die zusammen

mit wenigen älteren Apatit-Spaltspuralter (HEJL & GRUNDMANN, 1989), Aussagen zur thermischen Geschichte und Hebung der zentralen NKA erlauben. Dazu kommen Arbeiten zur strukturellen Stellung der Haselgebirgskörper im Deckenbau sowie zu Mikrogefügen der verschiedenen Gesteine. Ein größerer Teil der Untersuchungen ist publiziert (LEITNER & NEUBAUER, 2011; LEITNER et al., 2011, 2013, 2014; SCHORN & NEUBAUER, 2011, 2014; SCHORN et al., 2013a, b). Weitere wichtige Teilergebnisse finden sich noch in einer nur teilweise veröffentlichten Dissertation (SCHORN, 2013) und einer Masterarbeit (ZIEGLER, 2014). Zusätzlich harren noch weitere Ergebnisse und Erkenntnisse der endgültigen Darstellung in Publikationen (z.B. Mineralogie der Magmatite, z.B. BERNROIDER et al. (2017), chemische Zusammensetzung der Sulfate, verschiedene Altersdatierungen, Ergebnisse zur Struktur und Geodynamik der Kalkalpen).

#### Lithologien

Basierend auf der lithologischen Zusammensetzung lässt sich das Haselgebirge im Prinzip in zwei

#### Abb. 2.

Einige typische Lithologien des Haselgebirges. a, b: Geschiefertes Haselgebirge in Oberflächenaufschlüssen am Südhang des Rettensteins. c: Dioritblock in Gips vom Bruch Moosegg. d: Geschieferter Polyhalitblock von Hallstatt. e: Anhydritmikrogefüge mit sammelkristallisiertem körnigem, äquidimensionalem Anhydrit. An den Kornrändern entwickeln sich Gipskristalle (grau). f: Gelängte Anhydritkristalle mit einem sehr gut ausgebildeten Schieferungsgefüge in einem S-L-Tektonit. Die Abbildungen e und f sind von Proben von Moosegg.



große Gruppen einteilen: von Steinsalz dominiertes Haselgebirge und Sulfat dominiertes Haselgebirge. Beide Typen zeigen die Gefüge einer tektonischen Mélange, in der primäre sedimentäre Merkmale nur selten in größeren Schollen zu finden sind (Abb. 2a-d). Das Steinsalz dominierte Haselgebirge findet sich in den zentralen NKA von Hall in Tirol bis zum Salzkammergut. Es besteht aus einer variablen Mischung von Steinsalz und Tonstein, in die verschiedene, Dezimeter bis Zehnermeter große Blöcke aus Anhydrit/Gips-, Polyhalit- und kristallinen Gesteinen eingeschaltet sind. Dazu kommen mehrere hundert Meter lange Schollen von Kalken (SCHAUBERGER, 1986). Sulfat dominiertes Haselgebirge kommt im südlichen Salzkammergut vor und dominiert die östlichen NKA. Die Unterschiede zum Salz dominierten Haselgebirge bestehen darin, dass Tonsteine im Sulfat dominierten Haselgebirge zurücktreten und andere Sulfate als Gips/ Anhydrit sehr selten sind. Dagegen kommen mafische magmatische Einlagerungen in beiden Typen durchaus häufig vor und sind im Haselgebirge von Salzburg ostwärts verbreitet.

#### Gefüge des Haselgebirges

Steinsalz in salzreichem Haselgebirge ist feinkörnig und zeigt bedingt durch Einlagerungen verschiedene Färbungen. Die Bänderung ist immer eine Schieferung. Die Mikrogefüge zeigen Subkornbildung, häufig Drucklösung an Korngrenzen und zeigen sehr hohe Verformungsraten (10<sup>-10</sup> bis 10<sup>-9</sup> s<sup>-1</sup>; LEITNER et al., 2011) der altbekannten duktilen Verformung des Salzes an. SCHORN & NEUBAUER (2014) berechneten aus der Verformung von Bohrlöchern eine Verformungsrate von 8 x 10<sup>-10</sup> s<sup>-1</sup> für die letzten fünfzig Jahre.

An Sulfatmineralen sind die datierbaren Sulfatminerale Polyhalit [K<sub>2</sub>Ca<sub>2</sub>Mg(SO<sub>4</sub>)<sub>4</sub>.2H<sub>2</sub>O] und Langbeinit [K<sub>2</sub>Mg<sub>2</sub>(SO<sub>4</sub>)<sub>3</sub>] des Haselgebirges besonders interessant. Alle Salz- und Sulfat dominierten Haselgebirgsvorkommen der zentralen Nördlichen Kalkalpen haben Temperaturen erlebt, die teilweise über den Diagenese- und Metamorphosetemperaturen der unterlagernden Nebengesteine zu liegen scheinen. Illitkristallinität zeigt eine Temperatur von ca. 200° C an (Zusammenfassung in LEITNER et al., 2014). Der Temperaturhöhepunkt der metamorphen Überprägung liegt bei ca. 180° C im Berchtesgadener Bergwerk (Vitrinitreflexion, Flüssigkeitseinschlüsse) und bei ca. 240° C in Altaussee (Flüssigkeitseinschlüsse) (RANTITSCH & RUSSEGGER, 2005, und Literatur). Die Temperaturen des Haselgebirges blieben unterhalb von 255° C, bei der Polyhalit zu dehydrieren beginnt (WOLLMANN et al., 2008).

Polyhalit zeigt eine Reihe von Mikrogefügen, die auf mehrere Grundtypen zurückzuführen sind (LEITNER et al., 2013; SCHORN et al., 2013a): (1) Typen, die eine metasomatische Entstehung anzeigen, (2) solche, die auf hydrothermale Beeinflussung zurückgehen, (3) Dehnungsgänge mit grobkörnigen Polyhalit während regionalen Dehnungsereignissen und (4) geschieferte, feinkör-

Abb. 3.





nige Polyhalitgesteine (Abb. 3). Die Typen (1) bis (3) zeigen ihre Entstehung durch eine intensive Wechselwirkung von Evaporiten und Fluids an, die in verschiedenen Stadien bei verschiedenen Temperaturen stattgefunden hat.

Auch Anhydritgesteine zeigen ausschließlich metamorphe Gefüge. Nach Experimenten wird Gips bei einer Temperatur von ca. 100° C zu Bassanit [CaSO<sub>4</sub>(H<sub>2</sub>O)0.5] und Bassanit bei ca. 140° C in Anhydrit umgewandelt (BRANTUT et al., 2011). Die oben erwähnten Temperaturen schließen daher aus, dass primärer sedimentärer Gips erhalten ist. Bei den Untersuchungen an Anhydrit sind eine Reihe von Mikrogefügen nachweisbar, die alle metamorphen Ursprungs sind. Neben körnigen, äquidimensionalen Anhydriten mit schlichter Sammel-kristallisation (Abb. 2e) sind S-L-Anhydrittektonite mit gelängten und geregelten Anhydritkristallen sehr häufig (Abb. 2f).

#### **Kristalline Blöcke**

Während frühere Untersuchungen von hauptsächlich basaltischen vulkanischen Gesteinen ausgegangen sind (ZIRKL, 1957; KIRCHNER, 1979, 1980a), zeigen neue Untersuchungen eine große Bandbreite von plutonischen, vulkanischen und verschiedenen Typen von metamorphen Gestei-



#### Abb. 4.

Seltene Erdelementmuster von mafischen und selteneren intermediären Magmatiten des Haselgebirges. Oben: Plutonische Gesteine von Moosegg (SCHORN et al., 2013b: Fig. 7c verändert, CC BY-NC-ND 3.0). Unten: Metabasaltische Gesteine vom Gipsbruch Grundlsee (ZIEGLER, 2014). nen. Es kann auf jeden Fall eine Suite plutonischer Gesteine erkannt werden, die im Gipsbruch Moosegg folgende Gesteinstypen umfasst (SCHORN et al., 2013b): (1) Biotitdiorite, (2) Metadolerite, (3) Metasyenite, (4) metadoleritische Blauschiefer und (5) Ultramafitite. In anderen Zonen, z.B. in verschiedenen Salzbergwerken (Hallstatt, Bad Ischl) und in Gipsbrüchen (Grundlsee), in der Umgebung von Abtenau, aber auch in Oberflächenaufschlüssen kommen basaltische vulkanische Gesteine vor (ZIRKL, 1957; KIRCHNER, 1979, 1980a; ZIEGLER, 2014). Zusammengenommen, basierend auf Geochemie (Abb. 4), zeigen sowohl die vulkanischen wie plutonischen Gesteine eine mild alkalische mafische bis intermediäre Gesteinsassoziation an, während sich auch tholeitische mafische Gesteine (Grundlsee) nachweisen lassen. Altersdatierungen an gut erhaltenem Biotit der plutonischen Gesteine ergaben durchwegs Alter um ca. 250 Ma (Abb. 5) und zeigen damit ein signifikantes thermales Ereignis an der Perm-Trias-Grenze an (SCHORN et al., 2013b).

#### Metamorphe Blöcke

Zu den plutonischen und vulkanischen Blöcken treten seltenere Metamorphite, worunter sehr rare, feinkörnige, wegen der Feinkörnigkeit der Serizit führenden Matrix bisher nicht datierbare porphyroblastische Blauschiefer (Glaukophan als Porphyroblasten) besonders herausragen (siehe BERNROIDER et al., 2017). Im Gipsbruch Moosegg haben häufige metadoleritische Blauschiefer gut



Abb. 5.

Übersicht über Ar-Ar-Alter magmatischer und metamorpher Gesteine des Haselgebirges vom Gipsbruch Moosegg (SCHORN et al., 2013b: Fig. 10, CC BY-NC-ND 3.0).

erhaltene magmatische Gefüge, wobei magmatische Minerale metamorphe Anwachssäume aufweisen, die variszisch gebildet wurden (Abb. 5).

Zusätzlich konnten gebänderte metasedimentäre Schiefer und Gneise identifiziert werden, wobei Hellglimmer schlecht definierte variszische Alter ergeben haben (Abb. 5). Proben von sehr feinkörnigen Blauschiefern von einem aufgelassenen Steinbruch in Weitenau bei Moosegg dürften ein mesozoisches Alter haben.

#### **Datierung von Polyhalit und Langbeinit**

Die Minerale Langbeinit und Polyhalit von verschiedenen Lokalitäten wurden mit Hilfe der Ar-Ar-Methode datiert (Abb. 6). Ein einzelnes Plateaualter von Langbeinit aus der Salzlagerstätte Hall in Tirol ergab ca. 250 Ma und ist das einzige Alter, das nahe am angenommenen primären Alter des Haselgebirges liegt. An Polyhalit wurden vier verschiedene Altersgruppen erkannt (LEITNER et al., 2013, 2014), umfangreiche Daten insbesondere von Hallstatt sind noch nicht publiziert. (1) Grobkörniger Polyhalit in Dehnungsgängen, große Pseudomorphosen von Polyhalit nach Steinsalz und Polyhalitgängchen um rigide Porphyroklasten (z.B. um Anhydrit) ergaben Ar-Ar-Alter von ca. 235 bis 210 Ma (LEITNER et al., 2014). (2) Einige wenige Proben von relativ grobkörnigen Polyhalitmyloniten ergaben meist nicht sehr präzise definierte Alter um ca. 150 Ma. (3) Feinkörnige, stark geschieferte Polyhalitgesteine ergaben Alter um 110 Ma, wobei die Stufenmuster der Ar-Ar-Experimente (4) eine jüngere Überprägung um ca. 43 Ma angeben. Alle diese Polyhalitalter haben eine geologische Bedeutung, wobei die Alter um 235 bis 210 Ma das wesentliche Ereignis, nämlich

Abb. 6.

Übersicht über Polyhalit-Ar-Ar-Alter des Haselgebirges (aus LEITNER et al., 2014: Tab. 3). PA – plateau age, TGA – total gas age.

250	PA	PA	3		-	1	1	•	;			•	ł			1			ágé, isochró ágé,	n age
150-										•	•	•			•	1		1		
MA 100	PA 234.6:0.9	PA 235 5+0 9	TGA 239.2 0.8	TGA 220.1±0.7		TGA 234 2:05		TGA 223.6=0.5	TGA 211,9:05				•	PA 131 3:05					•	•
50	50 polyhalite pseudomorphs after halite hoppers				coarse polyhalite in veins (type 1)			coam in an	carse blasts of polyt antitydrite (type 2A)			cai in 1	muer fin mudroci	rue/ fine polyhalite subtock (type 3B)		4	ine-grai hear zi	ned pol	yhaite pe 3A)	n
0.	ALT-28 (098)	ALT-26	BDG-12 (069)	BDG-12 (073)	ALT-42A	80G-37D	ALT-53B	ALT-11	ALT-11	ALT-13 (622)	(131)	9-00	BDG-92 (638)	BDG-92 (618)	800-84	ALT-35	ALT-37 (561)	ALT-37 (403)	ALT-37 (766)	ALT-37 (562)

weitestgehend mittel- bis obertriassische Kristallisation von Polyhalit, widerspiegeln. Diese Kristallisation geht wahrscheinlich auf Hydrothermaltätigkeit längs von Abschiebungen, die wohl auch das Haselgebirge durchschnitten haben, zurück. Sehr untergeordnet sind die drei Überprägungsereignisse um 160–150, 110 und 43 Ma.

#### Bildung des Haselgebirges in einer Riftzone

Wir interpretieren die Bildung der vulkanischen und plutonischen, mild alkalischen mafischen Gesteinsassoziation zusammen mit den Evaporiten des Haselgebirges als fortgeschrittenes Stadium einer Riftzone. Dabei stellen am Südrand der NKA aufgeschlossene, unterlagernde, sehr mächtige oberkarbonische(?) bis permische terrestrische klastische Sedimente die Synriftphase dar, der die lagunären Evaporite und Magmatite des Haselgebirges folgen (Modell in Abbildung 7).





Modell einer Riftzone mit Bildung der magmatischen Gesteine zusammen mit den Evaporiten des Haselgebirges (aus SCHORN et al., 2013b: Fig. 11a, CC BY-NC-ND 3.0).

#### Mittel- bis obertriassische "Raft"-Tektonik

Wir postulieren als vorläufiges Modell eine mittel- bis obertriassische "Raft"-Tektonik, typisch für passive Kontinentalränder mit Evaporiten (z.B. HUDEC & JACKSON, 2006, 2007; WARREN, 2016), in dem das Haselgebirge als Gleithorizont der ozeanwärtig wandernden Sedimenthülle diente (Abb. 8). Die Bewegung wird durch die Mächtigkeitsunterschiede der überlagernden karbonatischen Schichtfolgen ausgelöst, insbesondere durch die große Überlagerung durch die Dachsteinkarbonatplattform, wodurch das evaporitische Haselgebirge seewärts in Richtung geringmächtiger überlagernder Schichtfolgen gedrückt wurde. Das erklärt den



Abb. 8.

Vorläufiges paläogeografisches Modell der "Raft"-Tektonik zur Erklärung des Zusammenhanges des Haselgebirges mit geringmächtigen Hallstätter Kalken (paläogeographisches Profil stark vereinfacht nach MANDL, 1982, 2000, das hier im Sinne der "Raft"-Tektonik tektonisch neu interpretiert wird). Der rotgelbe Stern gibt eine Situation am Südrand des Tennengebirges wieder, wo Dachstein-Riffkalk mit diskordantem Kontakt direkt auf Gutensteiner Kalk lagert.

nicht notwendiger Weise primären Zusammenhang zwischen Haselgebirge, Werfener Schichten und den geringmächtigen Hallstätter Kalken (siehe auch MANDL, 1982, 2000). Das Haselgebirge diente als Gleitbahn für das triassische "Rafting" und ist damit weitestgehend allochthon und erklärt auch die von MANDL (1982, 2000) postulierte Paläogeografie der Mittel- bzw. Obertrias der zentralen NKA. Zuletzt wurden auch Kippblöcke am Südrand des Tennengebirges identifiziert (eigene Beobachtungen; siehe auch Abbildung 8), die wahrscheinlich ein Ausdruck des "Raftings" bzw. der Bildung des passiven Kontinentalrandes zum Meliata-Ozeans sind.

# Struktur der zentralen NKA unter Einfluss des Haselgebirges

Salz und Sulfat dominiertes Haselgebirge zeigen ein grundsätzlich verschiedenes Strukturensemble. Steinsalz dominiertes Haselgebirge bildet unregelmäßig kissen- und diapirartige Körper, in denen das Salz wegen der geringen Festigkeit sehr stark angereichert ist (Abb. 9, Section 1, für Bad Ischl). Andere Beispiele sind Hall, Berchtesgaden, Dürrnberg, Altaussee und Hallstatt. Sulfat dominiertes Haselgebirge kommt häufig als Abscherhorizont an der Basis von tektonischen Decken vor und bildet subkonkordante Lagen längs der Deckenbahnen. Charakteristische Profile sind solche von Abtenau, Moosegg oder vom Ostrand der NKA (Abb. 9, Section 2), wobei es sich meist um altalpidische Decken mit der Platznahme an der Grenze von der Unter- zur Oberkreide handelt. Die Platznahme der Decken dürfte zeitgleich mit der altalpidischen Metamorphose abgelaufen sein, obwohl durchaus ältere Gefüge in Blöcken innerhalb der tektonischen Mélange erhalten geblieben sind.

Eine dritte Situation ist die am Rettenstein südwestlich des Dachsteinmassivs (Abb. 1), wobei Haselgebirge der grünschieferfaziell metamorphen Grauwackenzone und auflagernden permisch bis anisischen, ebenfalls metamorphen Deckengebirgsgesteinen aufliegt und von unmetamorphen Juragesteinen (Allgäu-Formation – Liasfleckenmergel, Adneter Kalk und Plassen-Kalk) (MEISTER & ВÖHM, 1993; AUER et al., 2009) (Abb. 10) überlagert wird. Hier liegt also das unmetamorphe Rettenstein-Allochthon auf einer metamorphen Schichtfolge (mit unterkretazischem Metamorphosealter: FRANK & SCHLAGER, 2006) und lässt sich daher nur durch eine subhorizontale duktile Abschiebung ("Rettenstein detachment") mit dem Haselgebirge als Scherhorizont erklären.

#### Zusammenfassung der geologischen Entwicklung

Das evaporitische permisch bis untertriassische Haselgebirge der NKA stellt eine tektonische Evaporitmélange dar und die zwei Grundtypen, Steinsalz- und Sulfat dominiertes Haselgebirge, zeigen eine regionale Tendenz, nämlich dominant Salz in den zentralen NKA und dominant Sulfate im Ostteil der NKA. Die damit assoziierten mafischen und intermediären vulkanischen und plutonischen Gesteine sind wohl syngenetisch gebildet oder wurden beim Deckentransport ebenso wie seltene metamorphe Gesteine (z.B. variszisch metamorphe Metadolerite) mitgenommen. Dieser



Zwei charakteristische geologische Profile des Haselgebirges. Section 1: Salz dominiertes Haselgebirge bei Bad Ischl (nach MANDL et al., 2012) als potenzielle kompressive Dreiecksstruktur neu interpretiert. PT – potenzielle Überschiebung. Das Profil von MANDL et al. (2012: Taf. 2, Profil C) wurde reinterpretiert und lässt sich auch als konvergente Dreiecksstruktur an der Spitze eines Deckenkörpers aus Gesteinen der Hallstatt-Fazies erklären, wobei die Bewegung gegen Nord gerichtet ist. Section 2: Sulfat dominiertes Haselgebirge als Scherhorizont an Deckenbahnen (ohne Bildung von kissenartigen Verdickungen) am Alpenostrand (nach WESSELY, 2006).

Typ an oberpermischen, mild alkalischen magmatischen Gesteinen ist in den Ostalpen sehr selten, kann eventuell mit Alkaligabbros in Eisenkappel (MILLER et al., 2011) oder mit mafischen permischen Magmatiten im Gailtalkristallin verglichen werden (eigene unveröffentlichte Daten). Die Evaporite selbst zeigen ausschließlich tektonische bzw. metamorphe, teilweise direkt datierbare Mikrogefüge, die wohl im Zuge multipler Ereignisse gebildet wurden. Da Langbeinit aus Hall mit dem Alter von ca. 250 Ma nur sekundär sein kann, ist bereits ein sehr frühes Wärmeereignis wahrscheinlich. Dieses Ereignis wird letztlich auch durch die häufigen Biotitabkühlalter angezeigt (Abb. 5).

Die bedeutenden mittel- bis obertriassisches Gang-, Hohlraumfüllungen und Ersatzgefüge von Polyhalit weisen auf umfangreiche hydrothermale Reaktivierung des Haselgebirges hin, die wir mit vermuteten Abschiebungen am passiven Kontinentalrand bei der Öffnung des Meliata-Ozeans in Beziehung setzen. Seltene oberjurassische geschieferte Polyhalite zeigen frühe tektonische

Abb. 10. Duktile subhorizontale Abschiebung ("Rettenstein detachment"), wobei das unmetamorphe Rettenstein-Allochthon mit dem Haselgebirge über metamorphen permischen bis mitteltriassischen Schichtfolgen der Werfener Schuppenzone liegt.


Bewegungen an, während das Hauptereignis der verschieferten Polyhalite auf die spätunterkretazische Deckenbewegung zurückzuführen ist. Insgesamt sind weitere strukturelle Arbeiten an den Sulfatschollen notwendig, um Oberjura- von Unterkreidetektonik zu trennen.

Wahrscheinlich ist wohl auch eine geodynamische Neuinterpretation nötig (z.B. MISSONI & GAWLICK, 2011a, b), da mittel- und obertriassische Prozesse ("Raft"-Tektonik) wie auch strukturelle Eigenheiten wie Bewegungssinn nach Süden bis Südosten während der Öffnung des Meliata-Ozeans bzw. gegen Norden/Nordwesten und spätere, gegen das Vorland gerichtete Überschiebungen bisher kaum in Betracht gezogen wurden. Schließlich lässt sich eine eozäne schwachtemperierte Reaktivierung an Polyhalit nachweisen, die auch paläomagnetisch erfassbar ist (PUEYO et al., 2007). (U-Th)/He-Alter an Apatit der Magmatite weisen auf eine obermiozäne Hebung der zentralen NKA hin und führten letztlich zur Abtragung der Augenstein-Landschaft. Die dominierenden Steilsalzgefüge könnten wegen der nachgewiesenen hohen Verformungsraten 8 x (10<sup>-10</sup> [s<sup>-1</sup>]) schließlich ganz junge, neogene und quartäre tektonische und eventuell auch gravitative Prozesse spiegeln.

#### Danksagung

Das Projekt "Polyhalit" wurde großzügig durch den Wissenschaftsfond FWF unterstützt (Projekt-Nr. P22.728), wofür herzlich gedankt sei. Wir danken Herrn Gerhard W. Mandl für einige Anregungen und Korrekturen. Wir bedanken uns bei der Salinen Austria AG und Südsalz GmbH für die Erlaubnis der Untertageuntersuchungen und der Moldan GesmbH und Saint-Gobain Rigips Austria GesmbH für die Erlaubnis, Untersuchungen in den Gipsbrüchen durchführen zu dürfen.

#### Literatur

- AUER, M., GAWLICK, H.-J., SUZUKI, H. & SCHLAGINTWEIT, F. (2009): Spatial and temporal development of siliceous basin and shallow-water carbonate sedimentation in Oxfordian Northern Calcareous Alps. – Facies, **55**, 63–87, Berlin.
- BERNROIDER, M., NEUBAUER, F., SCHORN A. & ZIEGLER, T. (2017): Mineralogy and petrology of magmatic and metamorphic rocks in the Permian–Lower Triassic Haselgebirge of the Eastern Alps: geodynamic implications. – Tagungsband zur Arbeitstagung der GBA 2017, 243–244, Wien.
- BRANTUT, N., HAN, R., SHIMAMOTO, T., FINDLING, N. & SCHUBNEL, A. (2011): Fast slip with inhibited temperature rise due to mineral dehydration: Evidence from experiments on gypsum. – Geology, **39**, 59–62, Boulder.

- FRANK, W. & SCHLAGER, W. (2006): Jurassic strike slip versus subduction in the Eastern Alps. – International Journal of Earth Sciences, 95, 431–450, Berlin.
- HEJL, E. & GRUNDMANN, G. (1989): Apatit-Spaltspurendaten zur thermischen Geschichte der Nördlichen Kalkalpen, der Flysch- und Molassezone. – Jahrbuch der Geologischen Bundesanstalt, **132**, 191–212, Wien.
- HUDEC, M.R. & JACKSON, M.P.A. (2006): Advance of allochthonous salt sheets in passive margins and orogens. – American Association of Petroleum Geologists Bulletin, **90**, 1535–1564, Tulsa.
- HUDEC, M.R. & JACKSON, M.P.A. (2007): Terra Infirma: Understanding Salt Tectonics. – Earth Science Reviews, **82**, 1–28, Amsterdam.
- KIRCHNER, E. (1979): Pumpellyitführende Kissenlavabreccien in der Gips-Anhydrit-Lagerstätte von Wienern am Grundlsee, Steiermark. – Tschermaks Mineralogische und Petrographische Mitteilungen, **26**, 149–162, Wien.
- KIRCHNER, E. (1980a): Vulkanite aus dem Permoskyth der Nördlichen Kalkalpen und ihre Metamorphose. – Mitteilungen der Österreichischen Geologischen Gesellschaft, **71/72**, 385–396, Wien.
- KIRCHNER, E. (1980b): Natriumamphibole und Natriumpyroxene als Mineralneubildungen in Sedimenten und basischen Vulkaniten aus dem Permoskyth der Nördlichen Kalkalpen. – Verhandlungen der Geologischen Bundesanstalt, **1980**, 249–279, Wien.
- KIRCHNER, E. (1987): Die Mineral-und Gesteinsvorkommen in den Gipslagerstätten der Lammermasse, innerhalb der Hallstattzone, Salzburg. – Jahrbuch Haus der Natur, **10**, 156–167, Salzburg.
- KLAUS, W. (1965): Zur Einstufung alpiner Salztone mittels Sporen. – Verhandlungen der Geologischen Bundesanstalt, Sonderheft G, 288–292, Wien.
- LEITNER, C. & NEUBAUER, F. (2011): Tectonic significance of structures within the salt deposits Altaussee and Berchtesgaden-Bad Dürrnberg, Northern Calcareous Alps. – Austrian Journal of Earth Sciences, **104**/2, 2–21, Wien.
- LEITNER, C., NEUBAUER, F., URAI, J.L. & SCHÖNHERR, J. (2011): Structure and Evolution of a Rocksalt-Mudrock-Tectonite: the Haselgebirge in the Northern Calcareous Alps. – Journal of Structural Geology, **33**, 970–984, Amsterdam. DOI: https://dx.doi.org/10.1016/j.jsg.2011.02.008.
- LEITNER, C., NEUBAUER, F., MARSCHALLINGER, R., GENSER, J. & BERNROIDER, M. (2013): Origin of deformed halite hopper crystals, pseudomorphic anhydrite cubes and polyhalite in Alpine evaporites (Austria, Germany). International Journal of Earth Sciences, **102**, 813–829, Berlin.
- LEITNER, C., NEUBAUER, F., GENSER, J., BOROJEVIĆ-ŠOŠTARIĆ, S. & RANTITSCH, G. (2014): <sup>40</sup>Ar/<sup>39</sup>Ar ages of crystallisation and recrystallisation of rock-forming polyhalite in Alpine rocksalt deposit. – In: JOURDAN, F., MARK, D.F. & VERATI, C. (Eds.): Advances in <sup>40</sup>Ar/<sup>39</sup>Ar Dating from Archaeology to Planetary Sciences. – Geological Society Special Publications, **378**, 207–224, London.

DOI: https://dx.doi.org/10.1144/SP378.5.

- MANDL, G.W. (1982): Jurassische Gleittektonik im Bereich der Hallstätter Zone zwischen Bad Ischl und Bad Aussee (Salzkammergut Österreich). – Mitteilungen der Gesellschaft der Geologie- und Bergbaustudenten in Österreich, **28**, 55–76, Wien.
- MANDL, G.W. (2000): The Alpine Sector of the Tethyan shelf Example of Triassic to Jurassic sedimentation and deformation from the Northern Calcerous Alps. – Mitteilungen der Österreichischen Geologischen Gesellschaft, **92**, 61–77, Wien.
- MANDL, G.W., HUSEN VAN, D. & LOBITZER, H. (Eds.) (2012): Geologische Karte der Republik Österreich 1:50.000, Erläuterungen zu Blatt 96 Bad Ischl. – 215 S., Geologische Bundesanstalt, Wien.
- MEISTER, C. & BÖHM, F. (1993): Austroalpine Liassic Ammonites from the Adnet Formation (Northern Calcareous Alps). – Jahrbuch der Geologischen Bundesanstalt, **136**, 163–211, Wien.
- MILLER, C., THÖNI, M., GOESSLER, W. & TESSADRI, R. (2011): Origin and age of the Eisenkappel gabbro to granite suite (Carinthia, SE Austrian Alps). – Lithos, **125**, 434–448, Amsterdam.
- MISSONI, S. & GAWLICK, H.-J. (2011a): Evidence for Jurassic subduction from the Northern Calcareous Alps (Berchtesgaden; Austroalpine, Germany). – International Journal of Earth Sciences, **100**, 1605–1631, Berlin.
- MISSONI, S. & GAWLICK, H.-J. (2011b): Jurassic mountain building and Mesozoic-Cenozoic geodynamic evolution of the Northern Calcareous Alps as proven in the Berchtesgaden Alps (Germany). – Facies, **57**, 137–186, Berlin.
- PUEYO, E.L., MAURITSCH, H.J., GAWLICK, H.-J., SCHOLGER, R. & FRISCH, W. (2007): New evidence for block 666 and thrust sheet rotations in the central northern Calcareous Alps deduced from two pervasive remagnetization events. – Tectonics, 26, TC5011, Washington, D.C. DOI: https://dx.doi.org/10.1029/2006TC001965.
- RANTITSCH, G. & RUSSEGGER, B. (2005): Organic maturation within the Central Northern Calcareous Alps (Eastern Alps). – Austrian Journal of Earth Sciences, **98**, 68–76, Wien.
- SCHAUBERGER, O. (1986): Bau und Bildung der Salzlagerstätten des ostalpinen Salinars. – Archiv für Lagerstättenforschung der Geologischen Bundesanstalt, **7**, 217–254, Wien.
- SCHORN, A. (2013): Polyhalite A Key for Unravelling Sedimentary and Tectonic Processes of Evaporites: The Haselgebirge Formation of the Eastern Alps. – Unpublished PhD thesis, VII + 279 S., Faculty of Natural Sciences, University of Salzburg, Salzburg.
- SCHORN, A. & NEUBAUER, F. (2011): Emplacement of an evaporitic melange nappe in central Northern Calcareous Alps: evidence from the Moosegg klippe (Austria). – Austrian Journal of Earth Sciences, **104**/2, 22–46, Wien.
- SCHORN, A. & NEUBAUER, F. (2014): The structure of the Hallstatt evaporite body (Northern Calcareous Alps, Austria): a compressive diapir superposed by strike-slip shear? – Journal of Structural Geology, **60**, 70–84, Amsterdam. DOI: https://dx.doi.org/10.1016/j.jsg.2013.12.008.
- SCHORN, A., NEUBAUER, F. & BERNROIDER, M. (2013a): Polyhalite microfabrics in an Alpine evaporite mélange: Hallstatt, Eastern Alps. – Journal of Structural Geology, 46, 57–75, Amsterdam. DOI: https://dx.doi.org/10.1016/j.jsg.2012.10.006.

SCHORN, A., NEUBAUER, F., GENSER, J. & BERNROIDER, M. (2013b): The Haselgebirge evaporitic mélange in central Northern Calcareous Alps (Austria): part of the Permian to Lower Triassic rift of the Meliata ocean? – Tectonophysics, 583, 28–48, Amsterdam. DOL https://dx.doi.org/10.1016/j.topto.2012.10.016

DOI: https://dx.doi.org/10.1016/j.tecto.2012.10.016.

- SPÖTL, C. (1989): The Alpine Haselgebirge Formation, Northern Calcareous Alps (Austria). Permo-Scythian evaporites in an alpine thrust system. – Sedimentary Geology, 65, 113–125, Amsterdam.
- SPÖTL, C. & PAK, E. (1996): A strontium and sulfur isotopic study of Permo-Triassic evaporites in the Northern Calcareous Alps, Austria. – Chemical Geology, **131**, 219–234, Amsterdam.
- SPÖTL, C., KRALIK, M. & KUNK, M.J. (1996): Authigenic Feldspar as an Indicator of Paleo-Rock/Water Intercalations in Permian Carbonates of the Northern Calcareous Alps, Austria. – Journal of Sedimentary Research, **66**, 139–146, Tulsa.
- SPÖTL, C., KUNK, M.J., RAMSEYER, K. & LONGSTAFFE, F.J. (1998): Authigenic potassium feldspar: a tracer for the timing of palaeofluid flow in carbonate rocks, northern Calcareous Alps, Austria. – In: PARNELL, J. (Ed.): Dating and Duration of Fluid Flow and Fluid-Rock Interaction. – Geological Society Special Publications, **144**, 107–128, London.

STRASSER, A. (1989): Die Minerale Salzburgs. – 348 S., Salzburg.

- TOLLMANN, A. (1985): Geologie von Österreich. Band 2. Außerzentralalpiner Anteil. – XV + 710 S., Wien (Deuticke).
- TOLLMANN, A. (1987): Late Jurassic/Neocomian Gravitational Tectonics in the Northern Calcareous Alps in Austria. – In: FLÜGEL, H.W. & FAUPL, P. (Eds.): Geodynamics of the Eastern Alps, 112–125, Wien (Deuticke).
- VOZÁROVA, A., VOZÁR, J. & MAYR, M. (1999): High-pressure metamorphism of basalts in the evaporitic sequence of the Haselgebirge: An evidence from Bad Ischl (Austria). – Abhandlungen der Geologischen Bundesanstalt, **56**, 325–330, Wien.
- WARREN, J.K. (2016): Evaporites. A Geological Compendium. – Second edition, 1657 S., Berlin–Heidelberg–New York (Springer).
- WESSELY, G. (2006): Geologie der österreichischen Bundesländer Niederösterreich. 416 S., Geologische Bundesanstalt, Wien.
- WOLLMANN, G., FREYER, D. & VOIGT, W. (2008): Polyhalite and its analogous triple salts. Monatshefte für Chemie, **139**, 739–745, Wien.
- ZIEGLER, T. (2014): The Haselgebirge south of Grundlsee: Geological structure, metabasaltic rocks and geodynamic setting. – Masterarbeit der Naturwissenschaftlichen Fakultät der Universität Salzburg, 179 S., Salzburg.
- ZIRKL, E.J. (1957): Der Melaphyr von Hallstatt. Jahrbuch der Geologischen Bundesanstalt, **100**, 137–177, Wien.

## Geologisch-geotouristische Highlights im Inneren Salzkammergut

#### HARALD LOBITZER (1)

## Das Innere Salzkammergut – ein Paradegebiet österreichischer Geologie

Das Innere Salzkammergut – darunter versteht man die traumhafte Landschaft rund um die Salzlagerstätten von Bad Ischl, Hallstatt und Altaussee – ist ein Kerngebiet Österreichs sowohl für Tourismus, als auch für Geologie, Paläontologie und Archäologie. Zudem zählt ein Teil des Gebietes von Hallstatt, Obertraun, Gosau und Bad Goisern seit 1997 zum UNESCO-Weltkulturerbe "Hallstatt-Dachstein/Salzkammergut".

Die ältesten Gesteine der Region stammen aus der späten Perm-Zeit (ca. 260–252 Mio. Jahre vor heute), dem Zeitabschnitt der Bildung der Salzlagerstätten. Diese sowie auch die vielfältig entwickelten Ablagerungen des Mesozoikums (252–66 Mio. Jahre vor heute) – viele wichtige Gesteine der Nördlichen Kalkalpen haben hier ihre klassische Lokalität – bieten einmalige Einblicke in längst vergangene Ablagerungs- bzw. Lebensräume.

#### Frühe geologische Erforschung

Die geowissenschaftliche Bearbeitung reicht in das Jahr 1762 zurück, als der Prager Naturforscher Johann Baptist Bohadsch (\*14. Juni 1724 in Schinkau; †16. Oktober 1768 in Prag) das Salzkammergut "auf allerhöchsten Befehl" bereiste. Einen Quantensprung in die moderne Geologie bedeuteten die Studien der Briten Adam Sedgwick (\*22. März 1785 in Dent, Yorkshire; †27. Jänner 1873 in Cambridge) und Roderick Impey Murchison (\*19. Februar 1792 in Tarradale, Schottland; †22. Oktober 1871 in London), die auf Einladung von Erzherzog Johann (1782–1859) in den Jahren 1829–1830 das Gebiet von Gosau detailliert geologisch und paläontologisch bearbeiteten. Ihnen verdanken wir bereits die Definition einer Reihe von Gesteinsnamen innerhalb der Gosau-Gruppe sowie die erste Beschreibung von wichtigen Fossilien der Gosau-Gruppe.

Eine Reihe von spektakulären monografischen Arbeiten verschiedener Autoren sollte folgen, in denen neue Gesteinsformationen definiert wurden. Den Anfang der Untergliederung des "Alpenkalks" machte FRIEDRICH SIMONY, der im Jahr 1847 den Begriff Dachsteinkalk prägte. Bald folgten weitere Schichtglieder, wie der Hallstätter Kalk (HAUER, 1853), der Hierlatz- und Klauskalk (SUESS, 1852a, b), Plassenkalk (PETERS, 1855), Zlambachschichten und Pötschenkalk (MOJSISOVICS, 1868a, b). Manche dieser Gesteinsnamen sind von überregionaler Bedeutung und werden auch in den Kettengebirgen von alpinem Typus von den Karpaten bis in den Himalaja verwendet. So etwa findet sich ein roter ammonitenreicher Hallstätter Kalk auch auf der indonesischen Insel Timor.

Die internationale Bedeutung des Gebietes ist aber vor allem auch im immensen Reichtum an Fossilien, insbesondere an Ammoniten, begründet. Das prädestinierte unsere Schichtfolgen für eine zeitliche Gliederung des alpinen Mesozoikums. In den Hallstätter Kalken des Inneren Salzkammergutes finden sich die weltweit artenreichsten Ammoniten-Faunen, wobei 10 der 13 weltweit gültigen Ammoniten-Zeitzonen für die späte Trias-Zeit (ca. 235–201 Mio. Jahre) an hiesigen Lokalitäten definiert wurden.

Aus dieser Gesteinsvielfalt des Inneren Salzkammergutes sind weit mehr als 1.000 Makro- und Mikrofossilien erstmals beschrieben worden, was für ein so kleines Gebiet "Weltrekord" bedeuten dürfte. Diese "versteinerten Urkunden" vermitteln uns Geologen die etwa 260 Millionen Jahre lange und im ständigen Wandel befindliche Erdgeschichte des Salzkammergutes. Es ist unser Handwerk, diese Spuren zu deuten, um die Vielfalt an längst vergangenen Lebensräumen zu erkennen, die vom Wüstenklima der permischen Salzlagunen über die tropischen Meere des Mesozoikums in die Eiszeit und in das "Jetzt" reichen.

#### Extrem große geologische Themenvielfalt

Aus der extrem großen geologischen Themenvielfalt, die das Innere Salzkammergut zu bieten hat, sollen hier lediglich zwei Höhepunkte herausgegriffen werden, nämlich der gebankte Dachsteinkalk mit seinem ober- und unterirdischen Karst in der Gemeinde Obertraun sowie das Löckenmoos

<sup>(1)</sup> Lindaustraße 3, 4820 Bad Ischl. harald.lobitzer@aon.at



Abb. 1. Der gebankte Dachsteinkalk des Hohen Dachsteins (2.995 m) ist namensgebend für den Begriff "Dachsteinkalk". Davor der Große Gosaugletscher im Jahr 2010, darunter das jüngst vom Gletscher freigegebene Gletschervorfeld (LOBITZER, 2016: 36). Foto: Harald Lobitzer.

in Gosau. Nicht minder interessant ist auch ein Besuch der beiden "Salzwelten" in Hallstatt oder Altaussee. Ein absolutes "Muss" für jeden an der Schönheit und Vielfalt unserer Landschaft Interessierten sind auch Spaziergänge in das Echerntal in Hallstatt, zum Talschluss der Gosauseen oder um den Altausseer See, um nur einige wenige Highlights herauszugreifen.

#### Dachsteinkalk und hochalpiner Karst

Die hochalpine Umrahmung der Gemeindegebiete von Gosau, Hallstatt und Obertraun wird von bis zu 1.500 m mächtigem gebankten Dachsteinkalk der späten Trias-Zeit geprägt (Abb. 1). Auf seinen Schichtflächen sind gelegentlich Anhäufungen von Megalodonten zu beobachten, die ein herzförmiges Aussehen zeigen und deshalb im Volksmund als "Kuhtritte" bezeichnet werden. Diese Muscheln lebten in größeren Kolonien festgeheftet im Kalkschlamm bzw. Kalksand der seichten Lagune, während sie im Dachstein-Riffkalk, etwa am Gosaukamm, niemals angetroffen werden.

Der mächtige lagunäre Dachsteinkalk am Dachstein-Plateau im Gemeindegebiet von Obertraun ist ein Paradegebiet der hochalpinen Karstforschung. Dort ist sowohl der oberirdische (Abb. 2), als auch der unterirdische Karst lehrbuchartig entwickelt. Zudem wurde der nun "Heilbronner Rundwanderweg" genannte "Karstlehrpfad" von Kollegen der Speläologischen Abteilung des Naturhistorischen Museums (NHM) mit Info-Tafeln exzellent geotouristisch erschlossen (PAVUZA et al., 2013). Man erreicht den Karstlehrpfad ebenso bequem mit der Krippenstein-Seilbahn, wie die beiden Schauhöhlen, die Dachstein-Rieseneishöhle und die Mammuthöhle. Diese repräsentieren das topografisch und altersmäßig mittlere Niveau der drei zu unterschiedlichen Zeiten entstandenen Höhlenniveaus. Zudem wurde im Kar der Schönbergalm ein informatives Höhlenmuseum eingerichtet. Reste des ältesten Höhlenniveaus, des Ruinenhöhlen-Niveaus,

#### Abb. 2.

Das rechteckig angeordnete, parallele Muster von Strukturkarren ist nach der gängigen Lehrmeinung (SPIEGLER, 1971) durch die Kalkstein-Textur, insbesondere von Gesteinstrennflächen, vorgegeben, die von der Korrosion "nachgezeichnet" werden. Strukturkarren entstehen somit primär nicht durch Kalklösung, wie das bei anderen Karren der Fall ist. Sie zeigen ein auffälliges Tiefenwachstum, wodurch das Gestein derart zernagt werden kann, dass eine Art von Scherbenkarst zu entstehen beginnt. Foto: Speläologische Abteilung des NHM Wien.



finden sich am Dachstein-Plateau, während das jüngste Höhlenniveau im Tal liegt: die Koppenbrüllerhöhle. Mit den drei Schauhöhlen, dem Karstlehrpfad sowie dem im Tal verlaufenden Themenweg "Durch Kalk und Karst" mit 27 Info-Stationen bietet die Gemeinde Obertraun eine österreichweit einzigartige geotouristische Info-Möglichkeit über Karst- und Höhlenbildung sowie die Wege des Wassers (Hydrogeologie) der Nördlichen Kalkalpen.

#### Die Dachstein-Rieseneishöhle

Der geotouristische Höhepunkt des "Dachstein-Höhlenparks" ist zweifellos ein Besuch der Dachstein-Rieseneishöhle (Höhlenkataster-Nr. 1547/17a-c) mit ihren mächtigen Eisbildungen (Abb. 3). Sie ist seit 1913 für Besucher zugänglich und seit 1951 mit der Krippenstein-Seilbahn bequem erreichbar. Von der Seilbahn-Mittelstation führt ein 15-minütiger Fußmarsch durch den flachen Kargrund der Schönbergalm und durch eine spektakuläre Felssturz-Landschaft bergan zum Höhleneingang. Beim Schauhöhleneingang kann man sich eine eventuelle Wartezeit mit dem Studium des gebankten Dachsteinkalks der Schönbergwand verkürzen. Zudem bietet sich von dort ein spektakulärer Blick in die wunderbare Landschaft. Besonders eindrucksvoll ist beim 800 m langen Höhlenrundgang der "König-Artus-Dom", der von gewaltigen Versturzblöcken übersät ist, die sich vor langer Zeit von der Decke lösten. Schon die Ersterforscher berichten über Funde von Höhlenbärenknochen, weshalb dieser Bereich als "Bärenfriedhof" bezeichnet wird.

Zum Thema Höhle ist auch zu bemerken, dass sich im Inneren Salzkammergut die drei ausgedehntesten Höhlensysteme Österreichs befinden: das mehr als 146 km lange Schönberg-Höhlensystem nahe von Bad Ischl ist zugleich das längste der Europäischen Union. Unweit davon befindet sich mit dem 123 km langen Schwarzmooskogel-Höhlensystem am Loser das zweitlängste und die Hirlatzhöhle in Hallstatt ist mit bislang mehr als 103 km bekannter Ganglänge das drittlängste. Diese Höhlen sind jedoch geotouristisch nicht erschlossen.

#### Das Salzkammergut – ein Paradies für Moore

Keineswegs vergessen dürfen wir die Moore, die im Salzkammergut trotz intensiver Eingriffe durch den Menschen (früher Torfabbau, heute leider gelegentlich noch immer Trockenlegung zwecks landwirtschaftlicher Nutzung sowie Zerstörung durch Skilifte und Skipisten etc.) noch immer eine weite Verbreitung zeigen (DRAXLER & REITER, 2016). Besonders positiv ist zu vermelden, dass unter Federführung der Österreichischen Bundesforste AG in den Jahren 2009 bis 2013 gemeinsam mit der Naturschutzabteilung des Landes Oberösterreich im Rahmen des Programms "Moor-Revitalisierung Inneres Salzkammergut" zahlreiche Moore vor dem endgültigen Verschwinden bewahrt wurden.

#### Das Große Löckenmoos

Moore können sich bei entsprechend niederschlagsreichem Klima auch auf Hängen, in Sätteln und auf Kuppen bilden, da die Torfmoose aufgrund ihres enormen Wasserspeichervermögens das Wasser entgegen der Schwerkraft auf dem Hang festhalten können. Ein außergewöhnliches Beispiel dafür und eine touristische Attraktion ersten Ranges ist das 1.380 m hoch gelegene "Große Löckenmoos" in Gosau, das zusammen mit den nahegelegenen Schleifsteinbrüchen zu den natur-



#### Abb. 3.

Die sommerlichen Eisformationen im "Parsivaldom" der Dachstein-Rieseneishöhle weisen Eismächtigkeiten zwischen 2 und 6 m auf, während sie im "Tristandom" 15 m erreichen. Seit 2002 findet ein Eisrückgang von durchschnittlich 6 cm pro Jahr statt, der wohl auf den aktuellen Klimawandel zurückgehen dürfte. Foto: Dachstein-Seilbahnen/ Schoepf.

#### Abb. 4.

Die Verlandung solcher Moorkolke, wie dem Löckensee im Großen Löckenmoos, wird durch die Torfmoose eingeleitet. Sie bilden am Ufer einen schmalen Schwingrasensaum, welcher in der Folge von höheren Pflanzen mit langen, unterirdischen Wurzelstöcken gefestigt wird. Rechts im Hintergrund der Plassen, die klassische Lokalität des spätjurassischen Plassenkalks, der hier in die frühe Kreide-Zeit hinaufreicht (LOBITZER, 2016: 95). Foto: Harald Lobitzer.

wissenschaftlichen Highlights eines Salzkammergut-Ausfluges zählt. Es ist dies ein mit typischen Hochmoor-Pflanzengesellschaften und Latschen bewachsenes Deckenmoor, das wie eine Decke die Kuppe des Löckenmoosberges überzieht. Für die Ausbildung von Deckenmooren ist ein extrem ozeanisches Klima erforderlich, in dem bei gleichmäßig kühlen Lufttemperaturen hohe Niederschläge fallen. Deshalb liegt der Schwerpunkt der Verbreitung von Deckenmooren im atlantischen Europa: auf den Britischen Inseln, in Irland und an der skandinavischen Westküste. In Mitteleuropa sind Deckenmoore eine Rarität. In Österreich gibt es fünf; drei davon in den Rätischen Alpen und zwei im Salzkammergut: das Große und Kleine Löckenmoos in Gosau. Dementsprechend wird diesen Mooren im Österreichischen Moorschutzkatalog internationale Bedeutung beigemessen.

Das Große Löckenmoos ist kein reines Hochmoor, da auch Grundwassereinfluss besteht, wie am Vorkommen von Sauergräsern zu erkennen ist. Die Torfmächtigkeit ist wie bei allen Deckenmooren mit einem bis maximal zwei Metern gering.

Einen besonderen landschaftlichen Reiz vermittelt ein auf der Kuppe mitten im Großen Löckenmoos gelegenes, stark saures Moorgewässer – der Löckensee (Abb. 4). Dieser bezieht sein gesamtes Wasser aus dem von Niederschlägen gespeisten Moorkörper, mit dem der Wasserspiegel kommuniziert. Hinsichtlich der Entstehung des Löckensees wird angenommen, dass der mit Wasser gesättigte Torfkörper seitwärts wie ein Brei auswich. Das vom Torf braun gefärbte "dunkle" Gewässer regte die Phantasie der Menschen an und so wurde dem nur 1,5 bis 2 m tiefen Löckensee eine unergründliche Tiefe nachgesagt.

Um die trittempfindliche Moorvegetation zu schonen, wurde durch das Moor ein Bohlenweg angelegt. Diesen sollte man keinesfalls verlassen; er führt auch am Löckensee vorbei. Info-Tafeln geben Auskunft über diesen außergewöhnlichen Lebensraum.



#### Literatur

- DRAXLER, I. & REITER, R. (2016): Gosau und Rußbach ein Eldorado für Moore. – In: LOBITZER, H. (Red.): Geologische Spaziergänge: Gosau (Salzkammergut, Oberösterreich) und Rußbach am Pass Gschütt (Tennengau, Salzburg), 85–92, Geologische Bundesanstalt, Wien.
- HAUER, F. V. (1853): Über die Gliederung der Trias-, Lias- und Juragebilde in den nordöstlichen Alpen. – Jahrbuch der k. k. Geologischen Reichsanstalt, 4, 715–784, Wien.
- LOBITZER, H. (2016): Geologische Spaziergänge: Gosau (Salzkammergut, Oberösterreich) und Rußbach am Pass Gschütt (Tennengau, Salzburg). – 160 S., Geologische Bundesanstalt, Wien.
- MOJSISOVICS, E. V. (1868a): Petrefacten-Suiten aus den Umgebungen von Hallstatt und Aussee. – Verhandlungen der k. k. Geologischen Reichsanstalt, **1868**, 15, Wien.
- MOJSISOVICS, E. V. (1868b): Umgebung von Aussee Steiermark. Gliederung der dortigen Trias. – Verhandlungen der k. k. Geologischen Reichsanstalt, **1868**, 256–258, Wien.
- PAVUZA, R., STUMMER, G., LOBITZER, H., REITER, R. & DRAXLER, I.
  (2013): Die "5fingers" und der Heilbronner Rundwanderweg (Karstlehrpfad). – In: LOBITZER, H. (Red.): Geologische Spaziergänge: Rund um den Hallstätter See. Salzkammergut. Oberösterreich, 111–121, Geologische Bundesanstalt, Wien.
- PETERS, K.F. (1855): Die Nerineen im Oberen Jura in Österreich.
   Sitzungsberichte der Mathematisch-Naturwissenschaftlichen Classe der Kaiserlichen Akademie der Wissenschaften,
  16, 336–366, Wien.
- SIMONY, F. (1847): Zweiter Winteraufenthalt auf dem Hallstätter Schneegebirge und drei Ersteigungen der hohen Dachsteinspitze (am 29. Jänner, 4. und 6. Februar 1847). – Berichte über die Mittheilungen von Freunden der Naturwissenschaften in Wien, **2**, 207–221, Wien.
- SPIEGLER, A. (1971): Die Strukturkarren. Die Höhle, **22**/1, 4–7, Wien.
- SUESS, E. (1852a): Über die Brachiopoden der nordöstlichen Alpen. – Jahrbuch der k. k. geologischen Reichsanstalt, **3**/2, 171, Wien.
- SUESS, E. (1852b): Ueber die Spiriferen des alpinen Lias. Jahrbuch der k. k. geologischen Reichsanstalt, **3**/4, 139, Wien.

# Gipsvorkommen in den Kalkalpen: Erdfallprävention mittels Geologie und Hydrochemie

GERLINDE POSCH-TRÖZMÜLLER (1), BERNHARD ATZENHOFER (1) & GERHARD HOBIGER (1)

Das Auftreten von leicht wasserlöslichen Gesteinen wie Gips oder Salz im Untergrund kann durch die Auslaugung derselben durch Grund- oder Regenwasser sowie anthropogen eingebrachter Wässer (versickertes Regenwasser, Wasser aus Swimmingpools) besonders im Bereich von Siedlungen oder Infrastruktur zu Problemen führen. Über einen längeren Zeitraum der kontinuierlichen Gipslösung, und damit verbunden auch der Ausschwemmung von Feinteilen nichtlöslicher Bestandteile (GALLER & GSCHWANDTNER, 2012), kann es zur Bildung von Hohlräumen im Untergrund kommen, deren Verbruch zu Senkungen oder Erdfällen führen kann.

Im Rahmen eines Auftrages der Marktgemeinde Hinterbrühl wurden eine Reihe von Methoden angewandt, um die Basis für eine Bewertung der geogenen Gefährdung durch die Existenz von Gips führenden Gesteinen im Untergrund durch Gipsauslaugung zu schaffen. Das Ergebnis der Untersuchungen (POSCH-TRÖZMÜLLER et al., 2015) bildete die Grundlage eines Gutachtens des Geologischen Dienstes der NÖ Landesregierung (GRÖSEL, 2016), welches zu einer behördlichen Maßnahme (Bausperre) in der Gemeinde führte. Seit dem 1. Februar 2017 muss in den gefährdeten Bereichen "bei sämtlichen Verfahren zur Bauplatzerklärung sowie bei Bauverfahren im Vorhinein ein geologisches Gutachten vorgelegt werden, welches die Tragfähigkeit des Untergrundes sicherstellt" (Moser, 2017: 1).

Hinterbrühl liegt am Alpenostrand im Bereich der Überschiebung der Göller-Decke auf die Frankenfels- und Lunz-Decke. An der Basis der Göller-Decke befindet sich eine tektonisch intensiv deformierte basale Schuppenzone oder ein "Basalteppich", der aus permischen bis untertriassischen Sedimenten, "Permoskyth" sowie Schollen von Mitteltrias, Jura und kalkalpenfremden Schürflingen besteht. Innerhalb des Basalteppichs – Wessely schlug als Formationsbegriff für das Gips führende, "permoskythische" Haselgebirge den Namen "Hinterbrühl-Formation" vor (WESSELY, 2006) – ist mit Gipsführung zu rechnen. Dieser erstreckt sich über einen großen Teil der Ortsgebiete von Weissenbach und Hinterbrühl. Im Osten von Hinterbrühl befindet sich die Seegrotte, wo zwischen der Mitte des 19. und dem frühen 20. Jahrhundert bis in das Jahr 1912 Gips abgebaut wurde. Im nördlichen Bereich des Basalteppichs befand sich der Gipsbergbau Hochleiten-Gießhübl (Gemeinde Maria Enzersdorf), der von 1873 bis 1901 aktiv war und nach einigen Erdfallereignissen in den 1990er Jahren im Jahr 2007 so weit als möglich verfüllt wurde (WEBER, 2014). Im Ortsgebiet von Hinterbrühl hatten sich in der Vergangenheit Erdfälle ereignet, zuletzt im Jahr 2014. In Weissenbach sind seit langem Senkungen der Gemeindestraße und Setzungsrisse an Gebäuden bekannt, was in einem Fall sogar zum Abriss eines Gebäudes geführt hat.

Die geologischen und hydrogeologischen Verhältnisse im unmittelbaren Bereich der Seegrotte waren bereits sehr gut erforscht (u.a. WEBER, 2000; WESSELY, 2001; GALLER & GSCHWANDTNER, 2012), für den Großteil des Gemeindegebietes war jedoch nicht bekannt, wo mit Gipsführung im Untergrund zu rechnen ist.

Das Vorkommen und die Erstreckung gipshaltiger Gesteine in der Marktgemeinde Hinterbrühl wurden durch eine Reihe von Methoden erkundet. Diese umfassten unter anderem ein umfangreiches Literaturstudium inklusive alter und moderner Karten, die Durchforstung von Datenbanken, das Sammeln von Hinweisen aus der Bevölkerung, die geologische Aufnahme und Dokumentation von Baustellen, und einer Analyse des Laserscans (in einer Auflösung von 1 m und der Beleuchtung aus vier Richtungen) sowie dessen Verifizierung im Gelände.

Um dem an der Oberfläche nicht sichtbaren Gips auf die Spur zu kommen, wurden entlang von Bächen und an Wasseraustritten Messungen der elektrischen Leitfähigkeit (sowie pH-Wert und Temperatur) durchgeführt. Die elektrische Leitfä-

<sup>(1)</sup> Geologische Bundesanstalt, Neulinggasse 38, 1030 Wien. gerlinde.posch@geologie.ac.at



Abb. 1. Ergebnisse der Leitfähigkeitsmessungen in der Marktgemeinde Hinterbrühl.

higkeit des Wassers stellt ein Maß für seine Mineralisierung dar, daher kann über die Leitfähigkeit z.B. auf hohe Sulfatgehalte rückgeschlossen werden, wie sie nach Gipsauslaugung im Wasser zu finden sind.

Insgesamt wurden an 105 Punkten 132 Messungen der Leitfähigkeit und des pH-Wertes durchgeführt, etliche Punkte wurden mehrmals gemessen, wodurch für diese Punkte somit Zeitreihen vorliegen.

Die höchsten Leitfähigkeitswerte wurden im östlichen Teil der Gemeinde Hinterbrühl gemessen. Entlang des Mödlingbaches nimmt die Leitfähigkeit von der Seegrotte bachaufwärts kontinuierlich ab, der Weißenbach zeigt in seinem unteren Abschnitt höhere Werte, die ab der Höhe der Kirche von Weissenbach bachaufwärts sprunghaft abnehmen. Einzelne hohe Werte entlang der Bachverläufe wurden an einmündenden Rohren gemessen. Hohe Leitfähigkeiten wurden weiters im Bereich des Alten Bades im Nordosten der Gemeinde und entlang des Gießhüblerbaches ermittelt (Abb. 1).

Um die Ergebnisse der Leitfähigkeitsmessungen korrekt interpretieren zu können, wurden an ausgesuchten Messstellen insgesamt 29 Wasserproben für hydrochemische Analysen genommen. So konnten Bereiche identifiziert werden, in welchen aus dem Untergrund gelöster Gips im Wasser deutlich feststellbar ist. Unter Zuhilfenahme einer Abflussmodellierung wurden morphologisch die Einzugsgebiete dieser Bereiche abgegrenzt, innerhalb derer die Gipslösung stattgefunden haben könnte. Die morphologischen Einzugsgebiete können keine unterirdischen Wege erfassen, stellen aber einen guten Anhaltspunkt dar. Weiters werden durch den Vergleich der morphologischen Einzugsgebiete mit der geologischen Karte Bereiche aufgezeigt, in welchen laut geologischer Kartierung kein Haselgebirge zu erwarten wäre, ein Einzugsgebiet aber vorhanden ist, wie dies beispielsweise am Weißenbach der Fall ist. So ist es möglich, Gipsvorkommen zu lokalisieren, die von einer geologischen Kartierung nicht erfasst werden können (Abb. 2).

Zwischenzeitlich abgeteufte Kernbohrungen konnten die durch die Leitfähigkeitsmessungen und die hydrochemischen Analysen festgestellte Gipsführung im Untergrund von Weissenbach be-



stätigen. Unter einer Überlagerung von 8 m wurde bis zur Endteufe in 25 m "permoskythisches" Haselgebirge erbohrt, neben Strecken aus reinem Gips (Abb. 3) wurde auch ein gipslösungsbedingter Hohlraum mit einem Vertikaldurchmesser von 2,3 m angefahren.

Die Verschneidung aller Untersuchungsergebnisse und Unterlagen machte es möglich, eine Zone abzugrenzen, in welcher das Vorhandensein von Gips im Untergrund gesichert ist oder zumindest vermutet wird und dadurch ein geogenes Risiko für Schäden an Bauwerken besteht. Der Bereich der Seegrotte wurde aufgrund des erhöhten Risikos durch unterirdische Hohlräume mit geringer Überlagerung als eigene Zone definiert.

#### Sulfatisotopenanalysen

Aus zwei Kernbohrungen in Weissenbach wurden je drei Gipsproben für Analysen der Schwefelisotopen ausgewählt. Die  $\delta^{34}$ S-Werte liegen zwischen 9,2 und 11,6 ‰ CDT (POSCH-TRÖZMÜLLER et al., 2017). Dies sind Werte, die nach HORACEK et al. (2010) und HOLSER (1977) typisch für das oberste Perm sowie die basale Untertrias sind.

Publizierte Werte aus der näheren Umgebung, der Seegrotte in Hinterbrühl und Heiligen-

#### Abb. 2.

Ergebnisse der hydrochemischen Analysen: Sulfatgehalte von Wasserproben der Marktgemeinde Hinterbrühl.

kreuz-Preinsfeld (KLAUS & PAK, 1974) sowie von Alland-Groisbach (GÖTZINGER & PAK, 1983) liefern vergleichbare Werte. Gipsproben, die aus Bohrkernen in Alland entnommen wurden, lieferten  $\delta^{34}$ S-Werte zwischen 8,9 und 10,2 ‰ CDT (POSCH-TRÖZMÜLLER et al., 2017).

Abb. 3.

Gipsprobe aus einer Kernbohrung in Weissenbach (KB 1, 21,9 m Tiefe).



#### Literatur

- GALLER, R. & GSCHWANDTNER, G. (2012): Stellungnahme zur aktuell laufenden Stabilitätsuntersuchung Seegrotte. Stand der Untersuchungen (Hydrologie, Mineralogie, Geotechnik). – Unveröffentlichte Stellungnahme vom 02.07.2012, Projekt P034-03-13, 101 S., Leoben.
- GÖTZINGER, M.A. & PAK, E. (1983): Zur Schwefelisotopenverteilung in Sulfid- und Sulfatmineralen triadischer Gesteine der Kalkalpen, Österreich. – Mitteilungen der Gesellschaft der Geologie- und Bergbaustudenten Österreichs, **29**, 191–198, Wien.
- GRÖSEL, K. (2016): Mögliche geogen und anthropogen bedingte Gefährdungen in Zusammenhang mit Gipsvorkommen in der Marktgemeinde Hinterbrühl samt Vorschlägen zur Lösung des Problems. – Stellungnahme und Gutachten des Geologischen Dienstes der NÖ Landesregierung, BD1-G-194/020-2014 vom 16. Juni 2016, 38 S., St. Pölten.
- HOLSER, W.T. (1977): Catastrophic chemical events in the history of the ocean. Nature, **67**, 403–407, London.
- HORACEK, M., BRANDNER, R., RICHOZ, S. & POVODEN-KARDENIZ, E. (2010): Lower Triassic sulphur isotope curve of marine sulphates from the Dolomites, N-Italy. – Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology, **290**, 65–70, Amsterdam.
- KLAUS, W. & PAK, E. (1974): Neue Beiträge zur Datierung von Evaporiten des Ober-Perm. – Carinthia II, **164**/84, 79–86, Klagenfurt.
- MOSER, E. (2017): Bausperre aufgrund von Gipsvorkommen. Der Gemeindebote, **314** (März 2017), 4 S., Hinterbrühl.
- POSCH-TRÖZMÜLLER, G., ATZENHOFER, B. & HOBIGER, G. (2015): Geologische Grundlagen zu Gipsvorkommen im Gebiet der Marktgemeinde Hinterbrühl. – Unveröffentlichter Bericht, Projekt NC-091, ZI2924/14, 101 S., 3 Anhänge, im Auftrag der Marktgemeinde Hinterbrühl, Geologische Bundesanstalt, Wien.

- POSCH-TRÖZMÜLLER, G., PERESSON, M., BRYDA, G., ĆORIĆ, S., GEBHARDT, H., HORACEK, M., RABEDER, J. & ROETZEL, R. (2017): Ad hoc Erfassung, integrative Dokumentation und Geowissenschaftliche Bearbeitung von aktuellen Bauaufschlüssen in Niederösterreich mit Schwerpunkt auf rohstoffwissenschaftliche, umweltrelevante und grundlagenorientierte Auswertungen. Frisch aufgedeckt – Geologie für Wissenshungrige. – Unveröffentlichter Jahresbericht, Bund/Bundesländer-Rohstoffprojekt, NC 92/ 2015-2017, Jahresendbericht 2016, 238 S., Geologische Bundesanstalt, Wien.
- WEBER, L. (2000): Seegrotte Hinterbrühl. Geologisches Gutachten vom 18.05.2000, 15 S., 1 Beilage, Bundesministerium für wirtschaftliche Angelegenheiten, Wien.
- WEBER, L. (2014): Gipsbergbau im Siedlungsgebiet Erkennen und Beherrschen der Risiken. – Tagungsband zum 16. Geoforum Umhausen Tirol, 74–87, Niederthai.
- WESSELY, G. (2001): Geologische Aufnahme des Gebietes Hinterbrühl Ost und der Seegrotte Hinterbrühl und Bemerkungen zu sicherheitsrelevanten geologischen Faktoren. Mit 8 Beilagen. – Unveröffentlichter Bericht im Auftrag der Marktgemeinde Hinterbrühl, 15 S., Wien.
- WESSELY, G. (2006): Geologie der österreichischen Bundesländer, Niederösterreich. 416 S., Geologische Bundesanstalt, Wien.

# Seesedimente als geologische Zeugen vergangener extremer Naturereignisse

Michael Strasser (1), Markus Aufleger (2), Markus Erhardt (3), Daniel Innerhofer (2), Jasper Moernaut (1), Maximilian Schellhorn (1) & Wolfgang Recheis (3)

#### **Einleitung und Motivation**

Seesedimente bilden geologisch hochaufgelöste Archive für vergangene Natur- und Umweltprozesse. Im Alpenraum reichen diese Archive typischerweise 10.000–20.000 Jahre zurück, da viele der Seen durch glaziale Prozesse während der letzten Eiszeit geformt und seit dem Rückzug der Gletscher "ruhige" Sedimentationsräume bilden, welche kaum durch Erosion oder menschliche Prozesse gestört wurden. Die Geologie, klimatische Bedingungen sowie Morphologie und Umweltprozesse (welche in der jüngeren Vergangenheit meist stark durch anthropogene Prozesse verändert und beeinflusst werden) kontrollieren Sediment-Erosion und -Transport vom Einzugsgebiet in den See. Sie wirken aber auch auf limnische Prozesse im System, welche auch die seeinterne Sedimentbildung und Ablagerungsbedingungen beeinflussen (Abb. 1). Die Wechselwirkungen all dieser Prozesse, sowie deren Veränderungen über die Zeit, werden im Sediment, welches meist kontinuierlich Jahr für Jahr am Seeboden abgelagert wird, "gespeichert" und archiviert. Zudem verursachen punktuelle extreme Naturereignisse wie Hochwasser, Bergstürze oder Erdbeben kurzzeitige Sedimentumlagerungen oder Sedimentdeformationen, welche zwischengelagert in die kontinuierlichen Seesedimentabfolgen charakteristische Ereignislagen und Sedimentgefüge hinterlassen.

Die Limnogeologie erforscht den Seeboden und die darunterliegende Sedimentablagerung



Schematisch dargestellte Wechselwirkung verschiedener Umweltprozesse, welche auf das Seesystem wirken und somit die Sedimentabfolge im See beeinflussen. Das geologische Archiv ist hier mit einem reflexionsseismischen Profil dargestellt, welches das akustische Reflexionsmuster der Sedimentschichtfolgen wiedergibt. Ebenfalls schematisch dargestellt sind unterschiedliche stratigrafische Abfolgen mit teilweise jahreszeitlicher Auflösung (= Warven), welche je nach Seetyp und dominierenden Prozessen das Sedimentarchiv aufbauen können. Figur modifiziert nach STURM & LOTTER (1995).

Universität Innsbruck, Institut für Geologie, Innrain 52f, 6020 Innsbruck. *michael.strasser@uibk.ac.at* Universität Innsbruck, Institut für Infrastruktur, Arbeitsbereich Wasserbau, Technikerstraße 13, 6020 Innsbruck.
 Medizinische Universität Innsbruck und Tirol Kliniken, Department Radiologie, Anichstraße 35, 6020 Innsbruck.

mit modernsten Untersuchungsmethoden (i.e. vom "Feld" mit geophysikalischen und hydroakustischen Untersuchungs- sowie verschiedenen Sedimentkern-Entnahme-Methoden bis in das "Labor" mit analytischen Bohrkernlogging-, sedimentologischen und geochemischen Laborsowie radiometrischen Datierungsmethoden), um aus dem geologischen Archiv der Seesedimente vergangene Umwelt- und Klimabedingungen sowie Prozesse und Wiederkehrraten von Extremereignissen in der Vergangenheit zu rekonstruieren. Motivation und Ziel dieser Forschung ist es, einerseits ein ganzheitliches Systemverständnis (Geologie-Mensch-Umwelt-See) zu erlangen, aber insbesondere auch mögliche Naturgefahren-Szenarien sowie deren Eintrittswahrscheinlichkeit in Zukunft richtig einschätzen zu können, um Entscheidungsträger wissenschaftlich fundierte Daten für sinnvolle Schadenminderungsmaßnahmen liefern zu können.

Mit diesem Kurzbeitrag stellen wir die Limnogeologie und das analytische Bohrkernlogging als neuen Forschungszweig in Österreich vor und zeigen auf, dass sich insbesondere über technologische Fortschritte und interdisziplinäre Kollaboration in der Vermessung von Seen und im Einsatz von nicht-destruktiven Bohrkernscanning-Ver-

#### Abb. 2.

Links sind die hydroakustischen Messprinzipien schematisch dargestellt: Reflektionsmuster von Schallwellen unterschiedlicher Frequenz und Ausstrahlungsgeometrien erlauben (i) Einblick in die Ablagerungsgeometrien der Seebodensedimente (3,5 kHz Seismik; siehe auch Abbildung 1) und (ii) hochpräzise Seeboden-Tiefenvermessungen (hochfrequente Schallwellen (400–500 kHz) mit dem Fächerecholot). Die beiden Katamarane zeigen die an der Universität Innsbruck vor kurzem neu angeschafften Messinstrumente für Reflektionsseismik (blauer Katamaran, Institut für Geologie) und Fächerecholot-Multibeam-Vermessung (roter Katamaran, Institut für Infrastruktur, Arbeitsbereich Wasserbau). fahren neue vielversprechende Anwendungen ergeben. Wir zeigen erste Resultate von einem limnogeologischen Pilotprojekt im Hechtsee bei Kufstein (Tirol), welche im Vortrag dann auch mit Resultaten und Daten von bereits abgeschlossenen Projekten aus Schweizer Seen in Bezug gesetzt werden, um das Potenzial und die Relevanz der Seegeologie-Forschung und deren Anwendungen, insbesondere auch in Bezug auf "Unterwasser" geologische Kartierungsarbeiten und das Abschätzen von Naturgefahren, aufzuzeigen.

#### Methoden und erste Resultate

Hochmoderne hydroakustische Vermessungsmethoden mit der sogenannten Fächerecholot-Technologie (Multibeam; Abb. 2) liefern digitale Geländemodelle der Seemorphologie (z.B. Bathymetrie), welche in Präzision und räumlicher Auflösung mit den Höhenmodellen der Laservermessung an Land (LiDAR-Daten) zu vergleichen sind, welche in den vergangenen Jahren nicht nur für geologische Anwendungen die Vermessung und die geomorphologisch/geologische Charakterisierung der Topografie revolutionierten. So können wir nun auch unter Wasser geologische und geomorphologische Elemente auf den Quadratzentimeter genau lokalisieren und vermessen.

Abbildung 3 zeigt ein Beispiel einer solchen bathymetrischen Vermessung des Hechtsees bei Kufstein im Tirol. Das Tiefenmodell zeigt im südwestlichen Teil des Sees unterseeische Aufschlüsse, welche der kompetenteren Hauptdolomit-Formation, welche am Südufer ansteht (hellgrau in der geologischen Karte), zuzuschreiben sind. Im Nordosten weisen Anrissnischen am Hang und blockig-chaotische Ablagerungen im Becken darauf hin, dass hier größere Sedimentpakete abgerutscht sind. Der tiefste Punkt wurde auf 57 m Wassertiefe vermessen.





#### Abb. 3.

Links: Bathymetrisches Reliefmodell des Hechtsees verschnitten mit der geologischen Karte (PAVLIK, 2008). Der rote Pfeil zeigt die Blickrichtung der 3D-Darstellung im rechten Bildausschnitt. Die hochauflösend bathymetrische Vermessung wurde im Rahmen einer Pilotkampagne mit dem Kongsberg Fächerecholot System GeoSwath Plus Compact (500 kHz) der Arbeitsgruppe Wasserbau der Universität Innsbruck im Juni 2016 aufgezeichnet.

Der Seeuntergrund wird weiter mit hochauflösenden reflexionsseismischen Methoden (3,5 kHz Seismik mit Geopuls Subbottom Profiler) abgebildet (Abb. 1, 2), so dass anhand dieser Daten und mittels seismik-stratigrafischer Analysemethoden die Geometrien der postglazialen Sedimenteinfüllung mit ca. 10 cm vertikaler Auflösung abgebildet und stratigrafisch interpretiert werden können. Dabei können insbesondere die stratigrafischen Niveaus von Massenbewegungen, welche sich durch chaotische und/oder transparente (je nach Massenbewegungstyp) von dem akustisch parallelen Reflexionsmuster der kontinuierlich abgelagerten Seesedimente deutlich unterscheiden, kartiert und in den räumlich-zeitlichen Bezug der Sedimentablagerungsentwicklung des Seesystems gesetzt werden. Zeitgleich und lokationsunabhängig voneinander auftretende Massenbewegungen können auf einen Auslösemechanismus mit regionaler Wirkung hindeuten, was auf ein Erdbeben oder ein auf den gesamten See wirkendes hydrodynamisches Extremereignis (z.B. Seiche, Tsunami) schließen lässt (STRASSER et al., 2013). Um die in den seismischen Daten identifizierten Horizonte, welche auf solche Extremereignisse hindeuten, genauer zu untersuchen und schlussendlich zu datieren, werden Sedimentkerne entnommen, um sie im Labor zu untersuchen.

Um Sedimentbohrkerne effizient und mit größtmöglicher hoher zeitlicher und räumlicher Auflösung mittels physikalischer und chemischer Messungen zu charakterisieren, entsteht zur Zeit am Institut für Geologie der Universität Innsbruck mit Fördergeldern des Bundesministeriums für Wissenschaft, Forschung und Wirtschaft (BMWFW) das österreichweite erste Kompetenzzentrum für wissenschaftliches Bohrkernscanning (Core Facility für wissenschaftliche Bohrkernanalysen), mit drei Bohrkernscannern (dem Multisensor Core Logger [MSCL]); einem 360° Bohrkern-Fotoscanner (SmartCIS) und einem Röntgenfluoreszenz (RFA)-Kernscanner mit digitaler Radiografie). Mit dem MSCL und dem SmartCIS können bohrkernphysikalische Parameter (Dichte, Porosität, P-Wellengeschwindigkeit, magnetische Suszeptibilität) in hoher vertikaler Auflösung gemessen, bzw. die Bohrkern-Manteloberfläche hochauflösend fotografiert werden. Der RFA-Kernscanner erlaubt zeiteffiziente hochaufgelöste chemische Elementanalysen: Der Bohrkern wird dabei mit einer Auflösung von bis zu 0,2 mm der Länge nach automatisch gescannt, wobei mittels Röntgenfluoreszenz für jeden Messpunkt gleichzeitig Gehalt und Verteilung der chemischen Elemente zwischen Mg und Ugemessen wird. Damit können Umwelt- und Klimaveränderungen, Mensch-Umwelt-Beziehungen sowie die Wechselwirkungen und Zusammenhänge zwischen Geo- und Biomaterialien und geo- und umweltdynamischen Prozessen rekonstruiert werden, welche in der chemischen Signatur der Bohrkernarchive gespeichert sind.

Im Sommer 2016 wurden 50–80 cm lange Kurzkerne im tiefen Becken des Hechtsees entnommen, um erste sedimentologische Untersuchungen durchzuführen. Diese Kerne wurden makroskopisch beschrieben, aber noch nicht systematisch mit dem oben erwähnten Kernscanner analysiert. Im Rahmen einer Testmessung an der Medizinischen Universität Innsbruck, welche zum Ziel hatte, die Computertomografie (CT) Anwendung für Sedimentbohrkerne aus österreichischen



#### Abb. 4.

Ausschnitt aus dem Sedimentbohrkern HE16-05, welcher im Sommer 2016 im Hechtsee abgeteuft wurde: Der Vergleich zwischen dem "konventionellen" Lichtbild-Bohrkernfoto (links) und einem CT-Bild, welches am CT-Scanner (Siemens Somatom Definition Flash) an der Medizinischen Universität Innsbruck aufgenommen wurde (rechts), verdeutlicht, wie mittels modernster Kernanalyse-Technologie in interdisziplinärer Zusammenarbeit Mikrostrukturen visualisiert und quantitativ analysiert werden können.

Seen zu testen, konnten aber CT-Daten gewonnen werden, welche es erlauben, feinste Sedimentstrukturen dreidimensional zu studieren und morphometrisch zu charakterisieren. Abbildung 4 zeigt, wie das CT-Bild vom Hechtsee-Sedimentkern HE16-05 gegenüber der Normalbild-Kernfotografie eine neue Dimension von Sedimentstrukturanalysen ermöglicht. Eine deutliche Lamination im submillimeter Bereich wird erkennbar und im mittleren Kernabschnitt, der makroskopisch als siltige Feinsandlage zu beschreiben ist, erkennt man soft-sediment Deformationsstrukturen. Anhand von drei Radiokarbondatierungen an organischen Makroresten (Laubblätter) kann einerseits die Mikrolamination einer Jahresschichtung zugeordnet werden (Warven) und andererseits die prominente Ereignislage auf 1744 AD ± 14 Jahre datiert werden.

#### Diskussion

Die limnogeologischen Untersuchungen im Hechtsee und die hier vorgestellten CT-Daten des aus dem tiefsten Bereich des 57 m tiefen Sees bei Kufstein in Tirol entnommenen Bohrkerns verdeutlichen, wie mittels hochmodernster Technologie und interdisziplinärer Kollaboration in der Vermessung von Seen und im Einsatz von nicht-destruktiven Bohrkernscanning-Verfahren das geologische Archiv erforscht werden kann. Wie für den Hechtsee anhand des sauerstofffreien Tiefenwassers (PECHLANDER et al., 1980) zu erwarten war, konnte die Untersuchung eine jahrzeitliche Sedimentschichtung nachweisen. Dadurch kann die zwischen 18 und 29 cm Sedimenttiefe herausragende Lage, welche auf ein Ereignis mit hydrodynamischem Sedimenttransport und Sedimentdeformation hindeutet, zeitlich relativ genau zwischen 1730 und 1758 AD eingeordnet werden. Anhand der noch nicht vollständig analysierten Daten kann zurzeit ein Zusammenhang zwischen der Ereignislage und der in den bathymetrischen Daten beschriebenen Sediment-Massenbewegung im nordöstlichen Teil des Sees noch nicht schlüssig nachgewiesen werden.

Einen möglichen Hinweis auf ein verursachendes Ereignis finden wir aber in der historischen Schrift von STAFFLER (1847), wo aufgrund authentischer Zeugnisse der Professor Joseph Unterrichter von Rechtenthal 1761 berichtet, dass "man am 1. November 1755 zur nämlichen Stunde, als Lissabon durch ein heftiges Erdbeben verwüstet worden, den Hechtsee in einem so furchtbaren Aufruhr gesehen, daß er mit wildem Gebrause seine Wellen zu einer gewaltigen Höhe aufjagte, eine Menge Schlamm und Unrath auswarf, selbst mehre [sic!] Schritte über seine Ufer trat. Diese Erscheinung fiel umso unerwarteter auf, als sie von einem windstillen, heitern [sic!] Himmel begleitet war, und eben der Hechtsee selbst bei den heftigsten Ungewittern und Sturmwinden immer einen ruhigen klaren Wasserspiegel behält." (STAFFLER, 1847: 820).

Auf Grund unserer bisherigen Beobachtungen und Altersdatierung kann daher darüber spekuliert werden, ob möglicherweise langwellige Erdbebenwellen des 1755 stattgefundenen Erdbebens vor Lissabon, das mit einer geschätzten Magnitude von 8,5 bis 9 das größte historische Erdbeben von Europa ist (GUTSCHER et al., 2006), in optimaler Resonanz mit der Eigenfrequenz im Hechtsee, Wellen (Seiche) erzeugt haben könnte. Diese Wellen könnten sich aufgeschaukelt haben und schlussendlich zu einer Massenbewegung oder einer Sedimentumlagerung geführt haben und so die historischen Quellen erklären. Mittels weiterer Untersuchungen und gezielter Kernentnahmen im nordöstlichen Teil des Sees im Bereich der subaquatischen Rutschung, weiteren Altersdatierungen und verfeinerter Warven-Chronologie, um die Unsicherheiten einzugrenzen, erhoffen wir uns in Zukunft weitere Daten, um dann auch mittels gekoppelter Erdbeben- und hydrodynamischer Berechnung die noch sehr spekulative Hypothese eines Zusammenhanges von fernen Erdbeben und Ereignislagen im Hechtsee zu testen. Weiter gilt es zu untersuchen, ob auch lokale Erdbeben Spuren in den Seesedimenten hinterlassen haben könnten.

So könnten die Seesedimente des Hechtsees, genauso wie potenziell viele andere, bisher nicht mit den uns heute zur Verfügung stehenden hydro-akustischen und bohrkernanalytischen Methoden untersuchten Seen in Österreich, spannende geologische Archive vergangener Extremereignisse, Umwelt und/oder Klimaänderungen beinhalten, welche mit langen Bohrkernen erfasst und über tausende von Jahren in die Vergangenheit zurück erforscht werden können. Daraus erhoffen wir uns ein besseres Verständnis über Erdsystemprozesse im Spannungsfeld zwischen Tektonik, Klima und Mensch zu erlangen und insbesondere auch mögliche Naturgefahren-Szenarien sowie deren Eintrittswahrscheinlichkeit in Zukunft richtig einschätzen zu können, um Entscheidungsträger wissenschaftlich fundierte Daten für sinnvolle Schadenminderungsmaßnahmen liefern zu können.

#### Literatur

- GUTSCHER, M.-A., BAPTISTA M.A. & MIRANDA, J.M. (2006): The Gibraltar Arc seismogenic zone (part 2): Constraints on a shallow east dipping fault plane source for the 1755 Lisbon earthquake provided by tsunami modeling and seismic intensity. Tectonophysics, **426**, 153–166, Amsterdam.
- PAVLIK, W. (2008): GEOFAST Zusammenstellung ausgewählter Archivunterlagen der Geologischen Bundesanstalt 1:50.000, ÖK 90 Kufstein (Stand 2006). – Geologische Bundesanstalt, Wien.
- PECHLANDER, R., SCHABER, P. & ROTT, E. (1980): Limnologisch-hygienische Erfassung und Überwachung der Tiroler Badeseen. Teil II/A: Ergebnisse limnologischer Untersuchungen an ausgewählten Badeseen Tirols. – Tiroler Umweltschutzkonzept, **6**, 9–145, Innsbruck.
- STAFFLER, J.J. (1847): Das deutsche Tirol und Vorarlberg, topographisch, mit geschichtlichen Bemerkungen, 1. Band. – 974 S., Innsbruck.
- STRASSER, M., MONECKE, K., SCHNELLMANN, M. & ANSELMETTI, F.S. (2013): Lake sediments as natural seismographs: A compiled record of Late Quaternary earthquakes in Central Switzerland and its implication for Alpine deformation. – Sedimentology, **60**, 319–341, Oxford.
- STURM, M. & LOTTER, A.F. (1995): Lake sediments as environmental archives. – EAWAG News, **38**, 6–9, Dübendorf.

## Potenziale und Anwendungen der oberflächennahen Geothermie im Alpenraum

GREGOR GÖTZL (1), MAGDALENA BOTTIG (1), MARTIN FUCHSLUGER (1), STEFAN HOYER (1) & DORIS RUPPRECHT (1)

#### Einleitung

Die Nutzung der Erdwärme (Geothermie) zur Produktion von elektrischer Energie, Wärme und Kälte besitzt in Österreich eine mittlerweile jahrzehntelange Tradition. Grundsätzlich wird zwischen den Begriffen "tiefe Geothermie" und "oberflächennahe Geothermie" unterschieden, wobei eine exakte Begriffsabgrenzung nicht existiert. Anwendungen der tiefen Geothermie beziehen sich in Österreich nahezu ausschließlich auf die Nutzung natürlicher Thermalwässer – auch Hydrogeothermie genannt. Anwendungen der oberflächennahen Geothermie beziehen sich im Allgemeinen auf Tiefenbereiche des Untergrundes von weniger als 300 Meter unter Gelände (Anwendungsgrenze des MinroG), wobei die Umgebungswärme des Untergrundes mittels Wärmepumpe genutzt wird. Die in Österreich mittlerweile marktbeherrschenden Anwendungssysteme umfassen einerseits geschlossene vertikale Wärmetauscher-Systeme (auch Erdwärmesonden oder Tiefenkollektoren genannt) und andererseits die thermische Nutzung des oberflächennahen Grundwassers (mit Hilfe von Grundwasserwärmepumpen oder Wasser-Wasser-Wärmepumpen). Neben diesen "klassischen" Anwendungssystemen zur Energiegewinnung existieren in Österreich auch bereits innovative Anwendungsmethoden in Form der geothermischen Nachnutzung von Altbergbauen oder in Form der saisonalen Wärmespeicherung in Erdwärmesondenfeldern.

Im Endbericht der Studie "Energieautarkie für Österreich 2050" (FFG Projekt B068644, STREICHER et al., 2010) wird der Geothermie eine wichtige Rolle zur Erfüllung der energie- und klimapolitischen Ziele zugeschrieben. In diesem Sinne wird ein Ausbau der tiefen Geothermie auf 71 Petajoule (PJ) p.a. bis 2050 gefordert, wobei ein wesentlicher Anteil der jährlichen Energieproduktion auf die Bereitstellung von Wärme entfällt. In den letzten Jahren ist eine Stagnation des Ausbaues der tiefen Geothermie in Österreich beobachtet worden. Im Jahr 2015 wurde mit Hilfe der tiefen Geothermie elektrische Energie und Raumwärme von etwa 2,4 PJ (davon 98 % Wärme) bereitgestellt, was wiederum nur etwa 3 % der Zielvorgaben für das Jahr 2050 entspricht. Im gleichen Jahr wurde hingegen eine geschätzte Wärmeproduktion von 16 PJ mittels Methoden der oberflächennahen Geothermie in Österreich erzielt (BIERMAYR et al., 2016). Es sei darauf hingewiesen, dass in dieser Statistik die Kühlung mittels Geothermie nicht enthalten ist.

Der österreichische Alpenraum stellt ein sensibles Öko- und Geosystem dar, in welchem die Anwendung oberflächennaher geothermischer Methoden einen wesentlichen Beitrag zum Schutz und Erhalt dieser Systeme leisten kann. Vielerorts ist jedoch das Anwendungsspektrum der oberflächennahen Geothermie den potenziellen Investoren nicht ausreichend bekannt. Zudem werden von den Verwaltungsbehörden möglichst flächendeckende Informationen zu Anwendungspotenzialen und Risiken benötigt. An der Geologischen Bundesanstalt (GBA) beschäftigen sich die Projekte SC-27, GRETA und Geothermie Altbergbau mit der Anwendung der oberflächennahen Geothermie im Alpenraum. Im Nachfolgenden werden die Erkenntnisse aus den Projekten SC-27 und GRETA vorgestellt.

#### Aufbau von Potenzialkarten für das Bundesland Salzburg (Projekt SC-27)

Im Rahmen des Bund-Bundesländer Kooperationsprojektes SC-27 (Informationsinitiative oberflächennahe Geothermie Salzburg) wurden im Auftrag der Salzburger Landesregierung Potenzialkarten für den Dauersiedlungsraum in Salzburg erarbeitet. Die zu erstellenden Karten richteten sich vor allem an Energieberater und sollten die standortspezifische Auswahl geeigneter Wärmeerzeugungssysteme unterstützen. In Abstimmung mit dem Auftraggeber wurde ein Zielmaßstab von 1:200.000 sowie eine Beschränkung auf den zu



Abb. 1.

erarbeitenden Karten auf den Salzburger Dauersiedlungsraum vereinbart. Begleitend zum Projekt SC-27 wurde eine Studie vergeben, in welcher unter anderem Konflikt- und Risikozonen der Anwendung von Methoden der oberflächennahen Geothermie ausgewiesen wurden. Die Ergebnisse beider Studien sollen demnächst in der Web-GIS-Anwendung des Bundeslandes Salzburg (SAGIS) veröffentlicht werden. Die Erhebung von Nutzungs- und Konfliktpotenzialen beschränkte sich auf die zwei marktdominierenden Anwendungssysteme "Erdwärmesonden" und "Grundwasserwärmepumpen".

Die Ergebnisparameter der Potenzialerhebung für Erdwärmesonden umfasste lediglich die potenzialleitenden Kenngrößen Wärmeleitfähigkeit und mittlere jährliche Bodentemperatur. Für Nutzungen mittels Grundwasserwärmepumpen war vorgesehen, die maximale thermische Leistung pro Brunnenpaar in der Einheit kW ohne Berücksichtigung des Wärmebeitrages der Wärmepumpe zu prognostizieren. Nach Erhebung der in Salzburg zur Verfügung stehenden Datenlage wurde jedoch erkannt, dass die benötigten potenzialleitenden Kenngrößen zur Berechnung der therSchematische Darstellung des methodischen Ansatzes zur Berechnung der potenzialleitenden Kenngrößen für die Nutzung von Erdwärmesonden und Grundwasserwärmepumpen für das Bundesland Salzburg (Götzl et al., 2016).

mischen Leistung einer Brunnendublette nur in wenigen der eingangs ausgewiesenen Grundwasser-Eignungsbereichen zur Verfügung standen. Aus diesem Grund wurde das Anwendungspotenzial für die Grundwasserpotenziale in Teilpotenziale untergliedert (Abb. 1).

Durch die Ausweisung der Teilpotenziale "Thermisches Teilpotenzial" (nutzbare Temperaturspreizung zwischen Entnahme- und Reinjektionsbrunnen), "Hydraulisches Teilpotenzial" (maximale Pumprate der Brunnendublette) und des "Legistischen Bestands" (statistische Auswertung der genehmigten Spitzenlast-Konsensmengen in der Einheit I/s) konnten potenzialleitende Kenngrößen zur Nutzung von Grundwasserwärmepumpen für nahezu alle Eignungsflächen Salzburgs ausgewiesen werden. Das hieraus resultierende technische Anwendungspotenzial konnte hingegen nur für ca. 10 % der zuvor ausgewiesenen Eignungsflächen bestimmt werden.



#### Potenzial Grundwasserwärmepumpe

Durch die Gliederung des Anwendungspotenzials von Grundwasserwärmepumpen in Teilpotenziale und der bewussten Ausweisung von hydrogeologischen Eignungsflächen ohne Datenangaben wurde das ursprüngliche Konzept der Erstellung flächendeckender gedruckter oder digitaler Karten aufgegeben und dem Auftraggeber die Herstellung einer Web-basierten Standortabfrage in Berichtsform ohne Kartenausgabe empfohlen. Die im SAGIS System des Bundeslandes Salzburg verwaltete Standortabfrage wurde im Mai 2017 veröffentlicht und ist unter *https://www.salzburg.gv.at* online abrufbar.

Die Flächendarstellung der potenzialleitenden Kenngrößen zur Anwendung von Grundwasserwärmepumpen erfolgte auf Grundlage der statistischen Mittelung der Kenngrößen, sodass innerhalb zuvor ausgewiesener hydrogeologischer Homogenbereiche keine weitere Differenzierung möglich ist.

#### Potenzial Erdwärmesonden

Die flächenhafte Darstellung der Potenziale für die Nutzung von Erdwärmesonden erfolgte weitgehend auf Grundlage eines Rasteransatzes. Die Bemessung der mittleren Bodentemperatur erfolgte durch Kombination des digitalen Höhenmodells mit einer seehöhenabhängigen Interpolationsfunktion der mittleren jährlichen Bodentemperatur, die aus 28 Messstationen der Zentralanstalt für Meteorologie und Geodynamik (ZAMG) in und um das Salzburger Landesgebiet abgeleitet worden ist.

Für die Prognose der Wärmeleitfähigkeit (WLF) des Untergrundes im Bereich 0–100 m Tiefe wurden Sedimentmächtigkeiten der Becken- und Talregionen mit Hilfe der Software GOCAD<sup>™</sup> modelliert sowie eine provisorische vom Quartär abgedeckte, lithologische Karte auf Grundlage der Geologischen Karte von Salzburg 1:200.000 (BRAUNSTINGL et al., 2005) erstellt. Dieser lithologisch klassifizierten "Festgesteinskarte" wur-



den WLF-Werte entsprechend der deutschen VDI 4640 Richtlinie zugewiesen, innerhalb der Sedimentbecken wurden die WLF-Werte für Lockergesteine der VDI 4640 entsprechend zuvor digitalisierter Bohrprofile von Erdwärmesonden interpoliert. Für die Erstellung der Potenzialkarte des Untergrundes bis in 100 m Tiefe (Abb. 3) wurde zwischen "Sedimentbereich" (Sedimentmächtigkeit größer als 100 Meter à WLF-Werte aus der attribuierten Sedimentmächtigkeitskarte), "Randbereiche" (à WLF-Werte aus der Sedimentmächtigkeitskarte bis zur Festgesteinsoberkante, darunter WLF-Werte der Festgesteinskarte) und "Festgesteinsbereiche" (à WLF-Werte der Festgesteinskarte + pauschaliert 15 m mit 1,8 W/m/K Deckschicht) unterschieden. Die gemittelten Wärmeleitfähigkeiten wurden abschließend auf ein 100 mal 100 Meter Raster interpoliert. Die daraus resultierende Wärmeleitfähigkeitskarte für den Dauersiedlungsraum Salzburg ist in Abbildung 2 dargestellt. Die modellierten Wärmeleitfähigkeiten der Sedimentbecken wurden exemplarisch mit Ergebnissen aus Thermal Response Test (TRT) Messungen in der Stadt Salzburg validiert. Die Gegenüberstellung der Wärmeleitfähigkeitsmodelle mit den Ergebnissen von drei TRT Messungen ergab eine Prognosegenauigkeit des Modells von 90 % bzw. eine mittlere absolute Abweichung von 0,2 W/m/K. Im Festgesteinsbereich konnte auf Grund fehlender Messdaten keine Validierung vorgenommen werden.

Abb. 3.

Schema zur Zuteilung der Wärmeleitfähigkeiten in Abhängigkeit von der Position einer Zelle im Hinblick auf Becken (Festgesteins-, Rand-, Sedimentbeckenbereich).

#### Harmonisierte Ansätze zur Planung und Anwendung der oberflächennahen Geothermie im Alpenraum (Projekt GRETA)

Im Rahmen des dreijährigen Interreg Alpine Space Projekts GRETA (http://www.alpine-space.eu/ projects/greta/de/home) kooperiert die Geologische Bundesanstalt mit Organisationen aus Deutschland, der Schweiz, Frankreich, Italien und Slowenien bis Ende 2018, um harmonisierte Themeninhalte zur Planung und Anwendung der oberflächennahen Geothermie im Alpenraum zu erarbeiten. Die Schwerpunkte liegen auf der Erstellung länderübergreifender Potenzialkarten und gemeinsamer Richtlinien zur Anwendung der Geothermie. Zusätzlich wurden in den beteiligten Ländern Pilotgebiete definiert, in denen unterschiedliche Schwerpunktthemen bearbeitet werden.

Im österreichischen Pilotgebiet Leogang–Saalbach-Hinterglemm (Salzburg) konzentrieren sich die Aktivitäten auf die Erstellung verbesserter Bodentemperaturkarten, die auch den Einfluss der Hanglage und, damit verbunden, die jährliche Strahlungsbilanz berücksichtigen. Zu diesem Zweck wurden im Herbst 2016 Beobachtungsstationen zur Erfassung der Bodentemperatur in Leogang installiert (Abb. 4). Erste Ergebnisse zeigen eindrücklich, dass die routinemäßig angewandte Methode zur flächigen Berechnung der Bodentemperatur – die Kombination des digitalen Höhenmodells mit einer seehöhenabhängigen Interpolationsfunktion der von der ZAMG an einzelnen Lokalitäten gemessenen mittleren jährlichen Bodentemperatur – nicht ausreichend ist, um detaillierte Prognosen treffen zu können. Jene im Tal auf 760 m errichtete Messstation im Leoganger Tal weist den gesamten Winter hindurch niedrigere Temperaturen auf, als die auf 1.230 m errichtete Station am Südhang des Tales.

Des Weiteren sollen die Einsatzmöglichkeiten oberflächennaher geothermischer Anwendungen im alpinen Tourismus untersucht und aufgezeigt werden. Die Erhebung von Best Practice Beispielen zu bestehenden Anwendungen zeigte, dass in Österreich auch in größeren Höhenlagen bereits einige Anlagen erfolgreich betrieben werden. Ein Beispiel stellt das Hotel Crystal in Obergurgl dar, welches auf 1.900 m Seehöhe aus einem Sondenfeld mit 66 Tiefbohrungen Heizwärme und Warmwasser produziert (http://www.alpine-space.eu/projects/greta/deliverables/d3.1.1 bestpractices.pdf). Zudem wird derzeit eine Studie zur Beurteilung von Nachrüstungskonzepten alpiner Hütten mit Hilfe von Methoden der oberflächennahen Geothermie durchgeführt.

#### Dank

Unsere Danksagung gilt dem Amt der Salzburger Landesregierung (besonders Dr. Rainer Braunstingl und Dipl. Ing. Theodor Steidl) für die Ermöglichung des Projekts SC-27 und die wertvolle Unterstützung in der Umsetzungsphase. Darüber hinaus sei auf das Interreg Alpine Space Programm der Europäischen Union hingewiesen und für die Förderung des Projektes GRETA gedankt.

#### Literatur

- BIERMAYR, P., EBERL, M., ENIGL, M., FECHNER, H., KRISTÖFEL, C., LEONHARTSBERGER, K., MARINGER, F., MOIDL, S., SCHMIDL, C., STRASSER, C., WEISS, W. & WOPIENKA, E. (2016): Innovative Energietechnologien in Österreich – Marktentwicklung 2015. – Berichte aus Energie- und Umweltforschung, 6/2016, 236 S., Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie, Wien.
- BRAUNSTINGL, R., PESTAL, G., HEJL, E., EGGER, H., HUSEN VAN, D., LINNER, M., MANDL, G., MOSER, M., REITNER, J., RUPP, C. & SCHUSTER, R. (2005): Geologische Karte von Salzburg 1:200.000. – Geologische Bundesanstalt, Wien.
- GÖTZL, G., PFLEIDERER, S., FUCHSLUGER, M., BOTTIG, M. & LIPIARSKI, P. (2016): Projekt SC-27 Pilotstudie "Informationsinitiative Oberflächennahe Geothermie für das Land Salzburg" (IIOG-S). – Unveröffentlichter Endbericht im Auftrag der Salzburger Landesregierung, 66 S., Geologische Bundesanstalt, Wien.
- STREICHER, W., SCHNITZER, H., TITZ, M., TATZBERGER, F., HEIMRATH, R., WETZ, I., HAUSBERGER, S., HAAS, R., KALT, G., DAMM, A., STEININGER, K. & OBLASSER, S. (2010): Energieautarkie für Österreich 2050. – Feasibility Studie, Endbericht im Auftrag des Klima- und Energiefonds (KLIEN), Innsbruck, Dezember 2010, 13 S., Innsbruck.

Abb. 4.

Im Rahmen des Projektes errichtete Bodentemperaturmessstationen im Pilotgebiet Leogang–Saalbach-Hinterglemm (Salzburg) sowie erste Messergebnisse aus einer Tiefe von 10 cm.



## Eine gleiche Terminologie im Quartär und bei Massenbewegungen

MATHIAS BICHLER (1), JÜRGEN M. REITNER (1), MICHAEL LOTTER (1), ANDREA SCHOBER (1) & MARKUS PALZER-KHOMENKO (1)

#### Zusammenfassung

Die "gleiche Terminologie" im Sinne von gleich verstandenen und ebenso verwendeten Begriffen ist in den Geowissenschaften von essenzieller Bedeutung für die Erhebung, Auswertung und Darstellung von Geodaten. Die Geologische Bundesanstalt (GBA), als zentrale Einrichtung für Wissensmanagement in den Geowissenschaften in Österreich, betrachtet es als wesentliche Aufgabe, die dafür benötigten Standards zu definieren. Aufbauend auf der Generallegende für die pleistozänen und holozänen Sedimente des Periglazialraumes (KRENMAYR et al., 2012) und auf die bisher in den GBA-Karten verwendeten Begriffe wurde eine Nomenklatur für Einheiten und Ablagerungsformen des Quartärs inklusive Massenbewegungen entwickelt. Diese werden in kartierbare Sedimentkörper (Lithogenetische Einheiten) und Reliefformen (geomorphologische Einheiten) unter grundsätzlicher Berücksichtigung der etablierten prozessorientierten Klassifikation eingeteilt. Die Begriffe sind entsprechend thematisch-prozessorientiert zusammengefasst und folgen einer einfachen hierarchischen Ordnung. Durch die Hierarchisierung können die Begriffe in Aufnahmemaßstäben (1:10.000) bis hin zu Darstellungsmaßstäben (1:25.000, 1:50.000, 1:200.000) sowie auch in der Punktdatenaufnahme verwendet werden. Derzeit wird dieser neue Standard aktiv in der geologischen Landesaufnahme und bei der Finalisierung von neuen Kartenblättern (1:25.000 und 1:50.000) verwendet und seine Praxistauglichkeit evaluiert.

#### Einleitung

Aufgrund der Komplexität geologischer Informationen sind in den vergangenen Jahrzehnten eine große Anzahl verschiedener Begriffe (ist gleich Legendeneinträge) für Quartär und Massenbewegungen auf analogen und digitalen Kartenwerken der GBA entstanden. Die Zahl aller Legendeneinträge, die jemals auf GBA-Landesaufnahme-Produkten für Quartär und Massenbewegungen verwendet wurden, beläuft sich auf ca. 3.000. Diese hohe Zahl lässt sich hauptsächlich auf zwei historisch gewachsene Faktoren zurückführen: a) Verschiedene Datenproduzenten (kartierende Geologinnen und Geologen) verwendeten verschiedene Konzepte für die Gliederung des Quartärs (z.B. Lithogenetische Einheiten vs. Lithologie vs. Lithostratigraphie) und b) Begriffe wurden geringfügig anders bezeichnet oder inhaltlich idente Legendeneinträge wurden unterschiedlich benannt. Daher ist eine gut durchdachte, fachlich geprüfte und konsequent eingehaltene Terminologie Grundvoraussetzung für eine moderne Datenverarbeitung an der GBA um a) einen Mindeststandard in der fachlichen Datengualität zu sichern, b) homogene österreichweite Datensätze erzeugen zu können und c) den Anforderungen einer digitalen Welt, die vernetzte Informationen fordert, gerecht zu werden.

#### Erfassung und Darstellung von Daten der Themen Quartär und Massenbewegungen

Entscheidend für die Akzeptanz eines Begriffsstandards ist neben einem logischen Aufbau auch die praktische Anwendbarkeit. Die Begriffe wurden ausgehend von den Anforderungen bei der Datenerstellung für eine geologische Karte konzipiert. Am Anfang standen Grundüberlegungen, wie Quartär und Massenbewegungen in einer modernen geologischen Karte (Datenmodell) dargestellt werden können und sollen. Aus dieser Diskussion erfolgte die Entscheidung, drei Themen zu definieren:

a) Lithogenetische Einheiten: Quartäre und rezente Gesteinsvorkommen, die auf Grund ihrer Vielzahl nicht als einzelne lithostratigraphische Einheiten formalisiert werden können, werden in Lithogenetische Einheiten gegliedert. Unter einer Lithogenetischen Einheit versteht man mit wenigen Ausnahmen (z.B. Travertin) einen kartierbaren Lockergesteins-

<sup>(1)</sup> Geologische Bundesanstalt, Neulinggasse 38, 1030 Wien. mathias.bichler@geologie.ac.at

körper, der durch seine Genese definiert ist (IUGS-CGI, 2016). Beispiele siehe Tabelle 1.

- b) Geomorphologische Einheiten: Die oberflächlichen Ausprägungsformen von Gesteinsvorkommen jeder Art (Fest- oder Lockergestein) werden als geomorphologische Einheiten beschrieben. Es gibt eine klare, sowohl begriffliche als auch kartentechnische Trennung zwischen der morphologischen Ausprägung und dem Sedimentinhalt von Lithogenetischen Einheiten, d.h. die morphologische Ausprägung bestimmt nicht die Zuteilung zu einer Lithogenetischen Einheit. Beispiele siehe Tabelle 2.
- c) Phänomene: Das Thema Phänomene umfasst alle geologisch relevanten Objekte einer Karte, die nicht einer geologischen oder geomorphologischen Einheit zugewiesen werden können, aber dennoch wichtig für das Verständnis von quartären Prozessen sind (z.B. bei Massenbewegungen). Beispiele siehe Tabelle 3.

Diese drei Themen können miteinander in verschiedenen Geometrien kombiniert werden (Abb. 1, 2) und bilden somit einen logischen und anwendbaren Rahmen für die datenbanktechnische Erfassung als auch Darstellung von Quartär und Massenbewegungen.





#### Hierarchie

Die Begriffe haben eine einfache Hierarchie (Tab. 1–3), die es erlaubt, je nach Anwender und Bedarf detaillierte oder gröbere Attribuierungen vorzunehmen. Weiters ermöglicht die Hierarchisierung zusammenfassende Abfragen (z.B. alle fluviatilen Ablagerungen).

#### Generallegende Quartär

Um die Begrifflichkeiten unter redaktioneller Aufsicht in beispielsweise GIS und Kartenanwendungen verwenden zu können, wurde eine Generallegende Quartär aufbauend auf den drei Themen Lithogenetische Einheiten, Geomorphologische Einheiten und Phänomene in Kombination mit den kontrollierten Begriffskatalogen von Chronostratigraphie, Lithostratigraphie und Lithologie erstellt (PALZER-KHOMENKO et al., 2017).

#### Anwendungen

#### Datenerstellung:

Mit Hilfe oben erwähnter Generallegende ist es möglich, kontrollierte vordefinierte Begriffskombinationen in z.B. einem GIS System anzubieten. Dadurch können während der gesamten Datenerstellung (Manuskriptkarte bis fertiger Datensatz bzw. gedruckte Karte) einheitliche, geprüfte Legendeneinträge und eine dementsprechend verwertbare Attribuierung gesichert werden.

#### Homogenisierung Backward:

Eine weitere Anwendung ist die Homogenisierung von vorhandenen Datensätzen. Durch den hierarchischen Aufbau und die Flexibilität des Systems können bisher produzierte Datensätze mit verschiedenen Legendeneinträgen mit relativ geringem Aufwand vereinheitlicht und in einer zentralen Liste zusammengeführt werden.

#### Begriffskataloge

Die folgenden drei Tabellen zeigen Auszüge aus den Begriffskatalogen mit ihren jeweiligen Hierarchisierungen.

CIOS CONTRACTOR

ID	
6862	Eisrandablagerung
6883	Eisrandablagerung ==> Kameablagerung
6863	Fluviatile Ablagerung
6884	Fluviatile Ablagerung ==> Ablagerung in Talsohlen und Talkerben
6885	Fluviatile Ablagerung ==> Bach- oder Flussablagerung
7177	Fluviatile Ablagerung ==> Bach- oder Flussablagerung ==> Bachablagerung
7176	Fluviatile Ablagerung ==> Bach- oder Flussablagerung ==> Flussablagerung
6923	Fluviatile Ablagerung ==> Bach- oder Flussablagerung ==> Bach- oder Flussbettablagerung
6924	Fluviatile Ablagerung ==> Bach- oder Flussablagerung ==> Überschwemmungsablagerung
6925	Fluviatile Ablagerung ==> Bach- oder Flussablagerung ==> Wildbachablagerung
6886	Fluviatile Ablagerung ==> Murablagerung
6887	Fluviatile Ablagerung ==> Schwemm- und Murkegel
6926	Fluviatile Ablagerung ==> Schwemm- und Murkegel ==> Murkegel
6927	Fluviatile Ablagerung ==> Schwemm- und Murkegel ==> Schwemmkegel
6888	Fluviatile Ablagerung ==> Schwemmfächer
6864	Glazifluviatile Ablagerung
6889	Glazifluviatile Ablagerung ==> Sander
6890	Glazifluviatile Ablagerung ==> Subglaziale Schmelzwasserablagerung
6928	Glazifluviatile Ablagerung ==> Subglaziale Schmelzwasserablagerung ==> Os- oder Eskerablagerung
6865	Glazigene Ablagerung
6891	Glazigene Ablagerung ==> End- und Seitenmoränenablagerung
6892	Glazigene Ablagerung ==> Erratischer Block
6893	Glazigene Ablagerung ==> Grund- und Ablationsmoränenablagerung (Till)
6937	Glazigene Ablagerung ==> Grund- und Ablationsmoränenablagerung (Till) ==> Ablationsmoränenablagerung
6938	Glazigene Ablagerung ==> Grund- und Ablationsmoränenablagerung (Till) ==> Grundmoränenablagerung
6894	Glazigene Ablagerung ==> Moränenstreu
6866	Glazilakustrines Sediment
6895	Glazilakustrines Sediment ==> Glazilakustrines Beckensediment
6896	Glazilakustrines Sediment ==> Subaguatische Moränenablagerung ("Waterlaid Till")
6867	Gravitative Ablagerung
6897	Gravitative Ablagerung ==> Bergsturzablagerung
6941	Gravitative Ablagerung ==> Bergsturzablagerung ==> Bergsturzgleitmasse
6942	Gravitative Ablagerung ==> Bergsturzablagerung ==> Bergsturzgleitmasse im Verband
6943	Gravitative Ablagerung ==> Bergsturzablagerung ==> Sturzstromablagerung
6898	Gravitative Ablagerung ==> Felssturzablagerung
6899	Gravitative Ablagerung ==> Fließmasse
6946	Gravitative Ablagerung ==> Fließmasse ==> Erdstromablagerung
6947	Gravitative Ablagerung ==> Fließmasse ==> Schuttstromablagerung
6900	Gravitative Ablagerung ==> Gleitmasse
6948	Gravitative Ablagerung ==> Gleitmasse ==> Gleitmasse im Verband
6901	Gravitative Ablagerung ==> Hangablagerung
6951	Gravitative Ablagerung ==> Hangablagerung ==> Hangbrekzie
6952	Gravitative Ablagerung ==> Hangablagerung ==> Hangablagerung mit Moränenmaterial
6954	Gravitative Ablagerung ==> Hangablagerung ==> Schutt- und Schwemmkegel
6955	Gravitative Ablagerung ==> Hangablagerung ==> Schuttkegel
6902	Gravitative Ablagerung ==> Kriechmasse
6956	Gravitative Ablagerung ==> Kriechmasse ==> Kriechmasse im Verband
6903	Gravitative Ablagerung ==> Lawinenschuttablagerung
6904	Gravitative Ablagerung ==> Sturzblock
6905	Gravitative Ablagerung ==> Tomahügel

Tab. 1. Beispielauszug aus dem Begriffskatalog Lithogenetische Einheiten mit Hierarchie (Stand: 27.02.2017).

ID	Geomorphologische_Einheit_Hierarchie		
6700	Anthropogene Form	Tab. 2.	
6702	Anthropogene Form ==> Mundloch	Beispielauszug aus dem Begriffskatalog	
6703	Anthropogene Form ==> Pinge	Geomorphologische Einheiten mit Hierarchie (Stand:	
6708	Frosionsform	27 02 2017)	
7172	Erosionsform> Austufo	27.02.2017 J.	
7174	Frosionsform ==> Austufe ==> Austufe Niveau 1		
7174	Elosionsionin> Austure> Austure Niveau 1		
/1/5	Erosionsform ==> Austure ==> Austure Niveau 2		
6709	Erosionsform ==> Erdpyramide		
6/10	Erosionsform ==> Felsterrasse		
7238	Erosionsform ==> Kolk		
6711	Erosionsform ==> Geländekante		
6712	Erosionsform ==> Geländekante ==> Erosionskante		
6714	Erosionsform ==> Geländekante ==> Terrassenkante		
6715	Erosionsform ==> Verebnungsfläche		
6716	Erosionsform ==> Yardang (Windhöcker)		
6974	Erosionsform ==> Yardang (Windhöcker) ==> Windkanter		
6717	Glazifluviatile Form		
6718	Glazifluviatile Form ==> Übergangskegel (Sander)		
6719	Glaziale Form		
6720	Glaziale Form ==> Glaziale Erosionsform		
7172	Glaziale Form ==> Glaziale Frosionsform ==> Gletschermühle		
6721	Glaziale Form ==> Glaziale Erosionsform ==> Gletscherschliff		
6722	Glaziale Form ==> Glaziale Frosionsform ==> Muschelbruch		
6723	Glaziale Form ==> Glaziale Frosionsform ==> Rat Tail		
6724	Glaziale Form ==> Glaziale Erosionsform> Glaziale Striomung	7en	
6725	Glaziale Form ==> End- und Seitenmoränonwall	2411	
6722	Glaziale Form> Os odor Eskor		
6724	Claziale Form> Colder Esker		
6725	Claziale Form> Subglaziale Freciencform		
6735	Clasiala Form> Subglaziala Frazionaform> Dundhäcker		
6730	Glaziale Form ==> Subglaziale Erosionsform ==> Rundhocker		
6737	Glaziale Form ==> Subglaziale Erosionsform ==> Whaleback		
6738	Glaziale Form ==> Subglaziale Wallform		
6739	Glaziale Form ==> Subglaziale Wallform ==> Drumlin		
6740	Glaziale Form ==> Subglaziale Wallform ==> Flute		
6741	Glaziale Form ==> Toteisloch		
6742	Gravitative Form		
6749	Gravitative Form ==> Abrisskante einer Massenbewegung		
6778	Gravitative Form ==> Abrisskante einer Massenbewegung ==> /	Abrisskante einer Fließmasse	
6779	Gravitative Form ==> Abrisskante einer Massenbewegung ==> /	Abrisskante einer Gleitmasse	
6780	Gravitative Form ==> Abrisskante einer Massenbewegung ==> /	Abrisskante einer Kriechmasse	
6781	Gravitative Form ==> Abrisskante einer Massenbewegung ==> /	Abrisskante einer Sturzmasse	
6782	Gravitative Form ==> Abrisskante einer Massenbewegung ==> /	Abrisskante einer tiefgreifenden Hangdeformation	
6783	Gravitative Form ==> Abrisskante einer Massenbewegung ==> /	Abrisskante eines Bergsturzes	
6750	Gravitative Form ==> Antithetischer Bruch		
6751	Gravitative Form ==> Aufgelockerter Bereich durch Driften		
6752	Gravitative Form ==> Bereich einer Gleitung		
6753			
	Gravitative Form ==> Bereich einer Hangsackung		
6754	Gravitative Form ==> Bereich einer Gleiteting Gravitative Form ==> Bereich einer Hangsackung Gravitative Form ==> Bereich einer tiefgreifenden Hangdeform	ation	
6754 6755	Gravitative Form ==> Bereich einer Gravitative Gravitative Form ==> Bereich einer tiefgreifenden Hangdeform Gravitative Form ==> Bereich eines Talzuschubs	ation	
6754 6755 6756	Gravitative Form ==> Bereich einer Gleitung Gravitative Form ==> Bereich einer Hangsackung Gravitative Form ==> Bereich eines Talzuschubs Gravitative Form ==> Berezerreißung (Zerrstruktur)	ation	
6754 6755 6756 6784	Gravitative Form ==> Bereich einer Gleitung Gravitative Form ==> Bereich einer tiefgreifenden Hangdeform Gravitative Form ==> Bereich eines Talzuschubs Gravitative Form ==> Bergzerreißung (Zerrstruktur) Gravitative Form ==> Bergzerreißung (Zerrstruktur) ==> Doppel	ation	
6754 6755 6756 6784 6785	Gravitative Form ==> Bereich einer Gleitung Gravitative Form ==> Bereich einer Hangsackung Gravitative Form ==> Bereich eines Talzuschubs Gravitative Form ==> Bergzerreißung (Zerrstruktur) Gravitative Form ==> Bergzerreißung (Zerrstruktur) ==> Doppel Gravitative Form ==> Bergzerreißung (Zerrstruktur) ==> Nacker	ation grat tälchen	
6754 6755 6756 6784 6785 6786	Gravitative Form ==> Bereich einer Gleitung Gravitative Form ==> Bereich einer Hangsackung Gravitative Form ==> Bereich eines Talzuschubs Gravitative Form ==> Bergzerreißung (Zerrstruktur) Gravitative Form ==> Bergzerreißung (Zerrstruktur) ==> Doppel Gravitative Form ==> Bergzerreißung (Zerrstruktur) ==> Nacker Gravitative Form ==> Bergzerreißung (Zerrstruktur) ==> Tieføre	ation grat itälchen ifend aufgelockerter Fels	
6754 6755 6756 6784 6785 6786 6787	Gravitative Form ==> Bereich einer Gleitung Gravitative Form ==> Bereich einer Hangsackung Gravitative Form ==> Bereich eines Talzuschubs Gravitative Form ==> Bergzerreißung (Zerrstruktur) Gravitative Form ==> Bergzerreißung (Zerrstruktur) ==> Doppel Gravitative Form ==> Bergzerreißung (Zerrstruktur) ==> Nacker Gravitative Form ==> Bergzerreißung (Zerrstruktur) ==> Tiefgre Gravitative Form ==> Bergzerreißung (Zerrstruktur) ==> Tiefgre	ation grat tälchen ifend aufgelockerter Fels hen	
6754 6755 6756 6784 6785 6786 6787 6788	Gravitative Form =>> Bereich einer Glettung Gravitative Form =>> Bereich einer Hangsackung Gravitative Form =>> Bereich eines Talzuschubs Gravitative Form =>> Bergzerreißung (Zerrstruktur) Gravitative Form =>> Bergzerreißung (Zerrstruktur) ==> Doppel Gravitative Form ==> Bergzerreißung (Zerrstruktur) ==> Nacker Gravitative Form ==> Bergzerreißung (Zerrstruktur) ==> Tiefgre Gravitative Form ==> Bergzerreißung (Zerrstruktur) ==> Zerrgra Gravitative Form ==> Bergzerreißung (Zerrstruktur) ==> Zerrgra	ation grat tälchen ifend aufgelockerter Fels ben	
6754 6755 6756 6784 6785 6786 6787 6788 6757	Gravitative Form =>> Bereich einer Greitung Gravitative Form =>> Bereich einer Hangsackung Gravitative Form =>> Bereich eines Talzuschubs Gravitative Form =>> Bergzerreißung (Zerrstruktur) Gravitative Form =>> Bergzerreißung (Zerrstruktur) ==> Doppel Gravitative Form ==> Bergzerreißung (Zerrstruktur) ==> Nacker Gravitative Form ==> Bergzerreißung (Zerrstruktur) ==> Tiefgre Gravitative Form ==> Bergzerreißung (Zerrstruktur) ==> Zerrgra Gravitative Form ==> Bergzerreißung (Zerrstruktur) ==> Zerrgra Gravitative Form ==> Bergzerreißung (Zerrstruktur) ==> Zerrgra	ation grat tälchen ifend aufgelockerter Fels ben ilte	
6754 6755 6756 6784 6785 6786 6787 6788 6757 6758	Gravitative Form =>> Bereich einer Greitung Gravitative Form =>> Bereich einer Hangsackung Gravitative Form =>> Bereich eines Talzuschubs Gravitative Form =>> Bergzerreißung (Zerrstruktur) Gravitative Form =>> Bergzerreißung (Zerrstruktur) ==> Doppel Gravitative Form ==> Bergzerreißung (Zerrstruktur) ==> Nacker Gravitative Form ==> Bergzerreißung (Zerrstruktur) ==> Tiefgre Gravitative Form ==> Bergzerreißung (Zerrstruktur) ==> Zerrgra Gravitative Form ==> Bergzerreißung (Zerrstruktur) ==> Zerrgra Gravitative Form ==> Bergzerreißung (Zerrstruktur) ==> Zerrspa Gravitative Form ==> Erdfall	ation grat tälchen ifend aufgelockerter Fels ben ilte	
6754 6755 6756 6784 6785 6786 6787 6788 6757 6758 6750	Gravitative Form =>> Bereich einer Greitung Gravitative Form =>> Bereich einer Hangsackung Gravitative Form =>> Bereich eines Talzuschubs Gravitative Form =>> Bergzerreißung (Zerrstruktur) Gravitative Form =>> Bergzerreißung (Zerrstruktur) ==> Doppel Gravitative Form ==> Bergzerreißung (Zerrstruktur) ==> Nacker Gravitative Form ==> Bergzerreißung (Zerrstruktur) ==> Tiefgre Gravitative Form ==> Bergzerreißung (Zerrstruktur) ==> Zerrgra Gravitative Form ==> Bergzerreißung (Zerrstruktur) ==> Zerrgra Gravitative Form ==> Bergzerreißung (Zerrstruktur) ==> Zerrspa Gravitative Form ==> Erdfall Gravitative Form ==> Kriechhang (Bodenkriechen)	ation grat tälchen ifend aufgelockerter Fels ben lite	
6754 6755 6756 6784 6785 6786 6787 6788 6757 6758 6759 6759	Gravitative Form =>> Bereich einer Greitung Gravitative Form =>> Bereich einer Hangsackung Gravitative Form =>> Bereich eines Talzuschubs Gravitative Form ==> Bergzerreißung (Zerrstruktur) Gravitative Form ==> Bergzerreißung (Zerrstruktur) ==> Doppel Gravitative Form ==> Bergzerreißung (Zerrstruktur) ==> Nacker Gravitative Form ==> Bergzerreißung (Zerrstruktur) ==> Nacker Gravitative Form ==> Bergzerreißung (Zerrstruktur) ==> Zerrgra Gravitative Form ==> Bergzerreißung (Zerrstruktur) ==> Zerrgra Gravitative Form ==> Bergzerreißung (Zerrstruktur) ==> Zerrgra Gravitative Form ==> Bergzerreißung (Zerrstruktur) ==> Zerrspa Gravitative Form ==> Erdfall Gravitative Form ==> Massenbewegungswall	ation grat tälchen ifend aufgelockerter Fels ben ilte	
6754 6755 6756 6784 6785 6786 6787 6788 6757 6758 6759 6759 6759 6759	Gravitative Form =>> Bereich einer Greitung Gravitative Form =>> Bereich einer Hangsackung Gravitative Form =>> Bereich eines Talzuschubs Gravitative Form =>> Bergzerreißung (Zerrstruktur) Gravitative Form =>> Bergzerreißung (Zerrstruktur) ==> Doppel Gravitative Form ==> Bergzerreißung (Zerrstruktur) ==> Nacker Gravitative Form ==> Bergzerreißung (Zerrstruktur) ==> Nacker Gravitative Form ==> Bergzerreißung (Zerrstruktur) ==> Zerrgra Gravitative Form ==> Bergzerreißung (Zerrstruktur) ==> Zerrgra Gravitative Form ==> Bergzerreißung (Zerrstruktur) ==> Zerrgra Gravitative Form ==> Bergzerreißung (Zerrstruktur) ==> Zerrspa Gravitative Form ==> Kriechhang (Bodenkriechen) Gravitative Form ==> Massenbewegungswall ==> Kompressions	ation grat tälchen ifend aufgelockerter Fels ben ilte swall	
6754 6755 6756 6784 6785 6786 6787 6788 6757 6758 6759 6759 6789 6791 6762	Gravitative Form =>> Bereich einer Greitung Gravitative Form =>> Bereich einer Hangsackung Gravitative Form =>> Bereich eines Talzuschubs Gravitative Form =>> Bergzerreißung (Zerrstruktur) Gravitative Form =>> Bergzerreißung (Zerrstruktur) ==> Doppel Gravitative Form ==> Bergzerreißung (Zerrstruktur) ==> Nacker Gravitative Form ==> Bergzerreißung (Zerrstruktur) ==> Nacker Gravitative Form ==> Bergzerreißung (Zerrstruktur) ==> Zerrgra Gravitative Form ==> Erdfall Gravitative Form ==> Massenbewegungswall ==> Kompressions Gravitative Form ==> Massenbewegungswall ==> Randwall eine Gravitative Form ==> Massenbewegungswall ==> Randwall eine	ation grat Itälchen ifend aufgelockerter Fels ben ilte	
6754 6755 6756 6784 6785 6786 6787 6788 6757 6758 6759 6759 6789 6791 6792 6760	Gravitative Form ==> Bereich einer Greitung Gravitative Form ==> Bereich einer Hangsackung Gravitative Form ==> Bereich eines Talzuschubs Gravitative Form ==> Bergzerreißung (Zerrstruktur) Gravitative Form ==> Bergzerreißung (Zerrstruktur) ==> Doppel Gravitative Form ==> Bergzerreißung (Zerrstruktur) ==> Nacker Gravitative Form ==> Bergzerreißung (Zerrstruktur) ==> Tiefgre Gravitative Form ==> Bergzerreißung (Zerrstruktur) ==> Zerrgra Gravitative Form ==> Erdfall Gravitative Form ==> Massenbewegungswall ==> Kompressions Gravitative Form ==> Massenbewegungswall ==> Randwall eine Gravitative Form ==> Targling (Kengenge)	ation grat ttälchen ifend aufgelockerter Fels ben ilte swall er Massenbewegung ill	
6754 6755 6756 6784 6785 6786 6787 6788 6757 6758 6759 6759 6789 6791 6792 6760 6760	Gravitative Form ==> Bereich einer Graung Gravitative Form ==> Bereich einer Hangsackung Gravitative Form ==> Bereich eines Talzuschubs Gravitative Form ==> Bergzerreißung (Zerrstruktur) Gravitative Form ==> Bergzerreißung (Zerrstruktur) ==> Doppel Gravitative Form ==> Bergzerreißung (Zerrstruktur) ==> Nacker Gravitative Form ==> Bergzerreißung (Zerrstruktur) ==> Nacker Gravitative Form ==> Bergzerreißung (Zerrstruktur) ==> Tiefgre Gravitative Form ==> Bergzerreißung (Zerrstruktur) ==> Zerrgra Gravitative Form ==> Bergzerreißung (Zerrstruktur) ==> Zerrgra Gravitative Form ==> Bergzerreißung (Zerrstruktur) ==> Zerrgra Gravitative Form ==> Bergzerreißung (Zerrstruktur) ==> Zerrspa Gravitative Form ==> Bergzerreißung (Bodenkriechen) Gravitative Form ==> Massenbewegungswall ==> Kompressions Gravitative Form ==> Massenbewegungswall ==> Randwall eine Gravitative Form ==> Massenbewegungswall ==> Sturzstromwa Gravitative Form ==> Toppling (Kippung)	ation grat ttälchen ifend aufgelockerter Fels ben ilte swall er Massenbewegung ill	
6754 6755 6756 6784 6785 6786 6787 6788 6757 6758 6759 6759 6789 6791 6792 6760 6760 6766	Gravitative Form ==> Bereich einer Greitung Gravitative Form ==> Bereich einer Hangsackung Gravitative Form ==> Bereich eines Talzuschubs Gravitative Form ==> Bergzerreißung (Zerrstruktur) Gravitative Form ==> Bergzerreißung (Zerrstruktur) ==> Doppel Gravitative Form ==> Bergzerreißung (Zerrstruktur) ==> Nacker Gravitative Form ==> Bergzerreißung (Zerrstruktur) ==> Nacker Gravitative Form ==> Bergzerreißung (Zerrstruktur) ==> Tiefgre Gravitative Form ==> Bergzerreißung (Zerrstruktur) ==> Zerrgra Gravitative Form ==> Bergzerreißung (Zerrstruktur) ==> Zerrgra Gravitative Form ==> Bergzerreißung (Zerrstruktur) ==> Zerrgra Gravitative Form ==> Bergzerreißung (Zerrstruktur) ==> Zerrspa Gravitative Form ==> Bergzerreißung (Zerrstruktur) ==> Zerrspa Gravitative Form ==> Kriechhang (Bodenkriechen) Gravitative Form ==> Massenbewegungswall ==> Kompressions Gravitative Form ==> Massenbewegungswall ==> Randwall eine Gravitative Form ==> Massenbewegungswall ==> Sturzstromwa Gravitative Form ==> Toppling (Kippung) Periglaziale Form	ation grat itälchen ifend aufgelockerter Fels ben ilte swall er Massenbewegung ill	
6754 6755 6756 6784 6785 6786 6787 6788 6757 6758 6759 6759 6791 6792 6760 6746 6767 6755	Gravitative Form ==> Bereich einer Greitung Gravitative Form ==> Bereich einer Hangsackung Gravitative Form ==> Bereich eines Talzuschubs Gravitative Form ==> Bergzerreißung (Zerrstruktur) Gravitative Form ==> Bergzerreißung (Zerrstruktur) ==> Doppel Gravitative Form ==> Bergzerreißung (Zerrstruktur) ==> Nacker Gravitative Form ==> Bergzerreißung (Zerrstruktur) ==> Nacker Gravitative Form ==> Bergzerreißung (Zerrstruktur) ==> Tiefgre Gravitative Form ==> Bergzerreißung (Zerrstruktur) ==> Zerrgra Gravitative Form ==> Bergzerreißung (Zerrstruktur) ==> Zerrgra Gravitative Form ==> Bergzerreißung (Zerrstruktur) ==> Zerrgra Gravitative Form ==> Bergzerreißung (Zerrstruktur) ==> Zerrspa Gravitative Form ==> Kriechhang (Bodenkriechen) Gravitative Form ==> Massenbewegungswall Gravitative Form ==> Massenbewegungswall ==> Kompressions Gravitative Form ==> Massenbewegungswall ==> Sturzstromwa Gravitative Form ==> Toppling (Kippung) Periglaziale Form Periglaziale Form ==> Wall (Blockgletscher)	ation grat stälchen ifend aufgelockerter Fels ben site swall er Massenbewegung sil	
6754 6755 6756 6784 6785 6786 6787 6788 6757 6758 6759 6759 6791 6792 6760 6746 6767 6768	Gravitative Form ==> Bereich einer Greitung Gravitative Form ==> Bereich einer Hangsackung Gravitative Form ==> Bereich eines Talzuschubs Gravitative Form ==> Bergzerreißung (Zerrstruktur) Gravitative Form ==> Bergzerreißung (Zerrstruktur) ==> Doppel Gravitative Form ==> Bergzerreißung (Zerrstruktur) ==> Nacker Gravitative Form ==> Bergzerreißung (Zerrstruktur) ==> Nacker Gravitative Form ==> Bergzerreißung (Zerrstruktur) ==> Tiefgre Gravitative Form ==> Bergzerreißung (Zerrstruktur) ==> Zerrgra Gravitative Form ==> Bergzerreißung (Zerrstruktur) ==> Zerrgra Gravitative Form ==> Bergzerreißung (Zerrstruktur) ==> Zerrgra Gravitative Form ==> Bergzerreißung (Zerrstruktur) ==> Zerrspa Gravitative Form ==> Kriechhang (Bodenkriechen) Gravitative Form ==> Massenbewegungswall Gravitative Form ==> Massenbewegungswall ==> Kompressions Gravitative Form ==> Massenbewegungswall ==> Sturzstromwa Gravitative Form ==> Toppling (Kippung) Periglaziale Form ==> Wall (Blockgletscher) Periglaziale Form ==> Wall (Blockgletscher)	ation grat grat tälchen ifend aufgelockerter Fels ben ilte swall er Massenbewegung ill	
6754 6755 6756 6784 6785 6786 6787 6788 6757 6758 6759 6759 6791 6792 6760 6746 6767 6768 6767	Gravitative Form ==> Bereich einer Greitung Gravitative Form ==> Bereich einer Hangsackung Gravitative Form ==> Bereich eines Talzuschubs Gravitative Form ==> Bergzerreißung (Zerrstruktur) Gravitative Form ==> Bergzerreißung (Zerrstruktur) ==> Doppel Gravitative Form ==> Bergzerreißung (Zerrstruktur) ==> Nacker Gravitative Form ==> Bergzerreißung (Zerrstruktur) ==> Nacker Gravitative Form ==> Bergzerreißung (Zerrstruktur) ==> Tiefgre Gravitative Form ==> Bergzerreißung (Zerrstruktur) ==> Zerrgra Gravitative Form ==> Bergzerreißung (Zerrstruktur) ==> Zerrgra Gravitative Form ==> Bergzerreißung (Zerrstruktur) ==> Zerrspa Gravitative Form ==> Bergzerreißung (Zerrstruktur) ==> Zerrspa Gravitative Form ==> Kriechhang (Bodenkriechen) Gravitative Form ==> Massenbewegungswall Gravitative Form ==> Massenbewegungswall ==> Kompressions Gravitative Form ==> Massenbewegungswall ==> Sturzstromwa Gravitative Form ==> Massenbewegungswall ==> Sturzstromwa Gravitative Form ==> Coppling (Kippung) Periglaziale Form Periglaziale Form ==> Wall (Blockgletscher) Periglaziale Form ==> Wall (Blockgletscher) Periglaziale Form ==> Wall (Periglaziale Schuttstromablagerung)	ation grat stälchen ifend aufgelockerter Fels ben ilte swall er Massenbewegung ill	
6754 6755 6756 6784 6785 6786 6787 6788 6757 6758 6759 6759 6791 6792 6760 6746 6760 6746 6767 6768 6769 7217	Gravitative Form ==> Bereich einer Gravitative Form ==> Bereich einer Hangsackung Gravitative Form ==> Bereich eines Talzuschubs Gravitative Form ==> Bereich eines Talzuschubs Gravitative Form ==> Bergzerreißung (Zerrstruktur) ==> Doppel Gravitative Form ==> Bergzerreißung (Zerrstruktur) ==> Nacker Gravitative Form ==> Bergzerreißung (Zerrstruktur) ==> Nacker Gravitative Form ==> Bergzerreißung (Zerrstruktur) ==> Tiefgre Gravitative Form ==> Bergzerreißung (Zerrstruktur) ==> Zerrgra Gravitative Form ==> Bergzerreißung (Zerrstruktur) ==> Zerrgra Gravitative Form ==> Bergzerreißung (Zerrstruktur) ==> Zerrgra Gravitative Form ==> Bergzerreißung (Zerrstruktur) ==> Zerrspa Gravitative Form ==> Kriechhang (Bodenkriechen) Gravitative Form ==> Massenbewegungswall Gravitative Form ==> Massenbewegungswall ==> Kompressions Gravitative Form ==> Massenbewegungswall ==> Sturzstromwa Gravitative Form ==> Massenbewegungswall ==> Sturzstromwa Gravitative Form ==> Mall (Blockgletscher) Periglaziale Form Periglaziale Form ==> Wall (Blockgletscherablagerung) Periglaziale Form ==> Wall (Blockgletscherablagerung) Periglaziale Form ==> Wall (Periglaziale Schuttstromablagerung) Terrassenform	ation grat ttälchen ifend aufgelockerter Fels ben ilte swall er Massenbewegung ill	
6754 6755 6756 6784 6785 6786 6787 6788 6757 6758 6759 6759 6791 6792 6760 6746 6760 6746 6767 6768 6769 7217 7218	Gravitative Form ==> Bereich einer Gravitative Form ==> Bereich einer Hangsackung Gravitative Form ==> Bereich eines Talzuschubs Gravitative Form ==> Bereich eines Talzuschubs Gravitative Form ==> Bergzerreißung (Zerrstruktur) ==> Doppel Gravitative Form ==> Bergzerreißung (Zerrstruktur) ==> Nacker Gravitative Form ==> Bergzerreißung (Zerrstruktur) ==> Nacker Gravitative Form ==> Bergzerreißung (Zerrstruktur) ==> Tiefgre Gravitative Form ==> Bergzerreißung (Zerrstruktur) ==> Zerrgra Gravitative Form ==> Bergzerreißung (Zerrstruktur) ==> Zerrgra Gravitative Form ==> Bergzerreißung (Zerrstruktur) ==> Zerrspa Gravitative Form ==> Erdfall Gravitative Form ==> Kriechhang (Bodenkriechen) Gravitative Form ==> Massenbewegungswall Gravitative Form ==> Massenbewegungswall ==> Kompressions Gravitative Form ==> Massenbewegungswall ==> Sturzstromwa Gravitative Form ==> Massenbewegungswall ==> Sturzstromwa Gravitative Form ==> Mall (Blockgletscher) Periglaziale Form Periglaziale Form ==> Wall (Blockgletscher) Periglaziale Form ==> Wall (Blockgletscher) Periglaziale Form ==> Wall (Blockgletscher) Periglaziale Form ==> Wall (Periglaziale Schuttstromablagerung) Terrassenform Terrassenform ==> Terrassen Niveau 1	ation grat tälchen ifend aufgelockerter Fels ben ilte swall er Massenbewegung ill	
6754 6755 6756 6784 6785 6787 6788 6757 6758 6759 6759 6791 6792 6760 6746 6760 6746 6767 6768 6769 7217 7218 7219	Gravitative Form ==> Bereich einer Gravitative Form ==> Bereich einer Hangsackung Gravitative Form ==> Bereich eines Talzuschubs Gravitative Form ==> Bereich eines Talzuschubs Gravitative Form ==> Bergzerreißung (Zerrstruktur) ==> Doppel Gravitative Form ==> Bergzerreißung (Zerrstruktur) ==> Nacker Gravitative Form ==> Bergzerreißung (Zerrstruktur) ==> Nacker Gravitative Form ==> Bergzerreißung (Zerrstruktur) ==> Tiefgre Gravitative Form ==> Bergzerreißung (Zerrstruktur) ==> Zerrgra Gravitative Form ==> Bergzerreißung (Zerrstruktur) ==> Zerrgra Gravitative Form ==> Bergzerreißung (Zerrstruktur) ==> Zerrspa Gravitative Form ==> Kriechhang (Bodenkriechen) Gravitative Form ==> Massenbewegungswall Gravitative Form ==> Massenbewegungswall ==> Kompressions Gravitative Form ==> Massenbewegungswall ==> Kompressions Gravitative Form ==> Massenbewegungswall ==> Sturzstromwa Gravitative Form ==> Massenbewegungswall ==> Sturzstromwa Gravitative Form ==> Mall (Blockgletscher) Periglaziale Form Periglaziale Form ==> Wall (Blockgletscher) Periglaziale Form ==> Wall (Blockgletscher) Periglaziale Form ==> Wall (Blockgletscher) Periglaziale Form ==> Wall (Periglaziale Schuttstromablagerung) Terrassenform ==> Terrassen Niveau 1 Terrassenform ==> Terrassen Niveau 2	ation grat tälchen ifend aufgelockerter Fels ben ilte swall er Massenbewegung ill )	

ID	Phänomen_Hierarchie
6808	Verwitterungsphänomen
7237	Verwitterungsphänomen ==> Tiefgreifende Verwitterung
6809	Verwitterungsphänomen ==> Tiefgreifende Verwitterung ==> Tiefgreifende Verwitterung/Vergrusung
6816	Verwitterungsphänomen ==> Tiefgreifende Verwitterung ==> Tiefgreifende Verwitterung/Vergrusung ==> Geologische Orgel
6817	Verwitterungsphänomen ==> Tiefgreifende Verwitterung ==> Tiefgreifende Verwitterung/Vergrusung ==> Wollsackverwitterung
6810	Verwitterungsphänomen ==> Tiefgreifende Verwitterung ==> Tiefgreifende Verwitterung/Verlehmung
7239	Verwitterungsphänomen ==> Paläoboden
6811	Gravitatives Phänomen
6818	Gravitatives Phänomen ==> Umrandung eines Massenbewegungskörpers
6819	Gravitatives Phänomen ==> Umrandung eines Massenbewegungskörpers ==> Umrandung einer tiefgreifenden Hangdeformation
6815	Periglaziales Phänomen
6848	Periglaziales Phänomen ==> Periglaziale Verwitterung
6849	Periglaziales Phänomen ==> Eiskeil (fossil)
6850	Periglaziales Phänomen ==> Eiskeilnetz (fossil)
6851	Periglaziales Phänomen ==> Frostmusterboden
6852	Periglaziales Phänomen ==> Kryoturbation

Tab. 3.

Beispielauszug aus dem Begriffskatalog Phänomene mit Hierarchie (Stand: 27.02.2017).

#### Literatur

- KRENMAYR, H.G., ĆORIĆ, S., GEBHARDT, H., IGLSEDER, C., LINNER, M., MANDL, G.W., REITNER, J., ROCKENSCHAUB, M., ROETZEL, R. & RUPP, C. (2012): Generallegende der pleistozänen bis holozänen Sedimente und Verwitterungsprodukte des Periglazialraumes auf den geologischen Spezialkarten (1:50.000, 1:25.000) der Geologischen Bundesanstalt. – Jahrbuch der Geologischen Bundesanstalt, **152**, 57–66, Wien.
- IUGS-CGI (2016): IUGS Commission for the Management and Application of Geoscience Information (CGI). CGI geoscience vocabularies service.

http://def.seegrid.csiro.au/sissvoc/cgi201211/resource?uri=http://resource.geosciml.org/classifier/cgi/geologicunittype/lithogenetic\_unit (abgerufen am: 20.03.2017).

PALZER-KHOMENKO, M., BICHLER, M., HEGER, H. & BAYER, I. (2017): GBA-Generallegende für Quartär und Massenbewegungen. – Tagungsband zur Arbeitstagung der GBA 2017, 210–211, Wien.

### Wolfgang Seiberls Beitrag zur Geophysik Österreichs

Die vollständige Darstellung der Beiträge von Wolfgang Seiberl (1941–2016) zur Geophysik Österreichs ist in diesem Rahmen nur möglich, wenn versucht wird, seine bleibenden Verdienste exemplarisch darzustellen. Sein breites Wissen und seine große Erfahrung in den verschiedensten Bereichen der Geophysik führten zu immer neuen Ideen in der Anwendung neuer Mess- und Auswerteverfahren bei aktuellen geowissenschaftlichen Problemstellungen einerseits und der planmäßigen Aufrüstung der erforderlichen Instrumente andererseits. Es muss aber auch schon einleitend festgehalten werden, dass Wolfgang Seiberl mit seiner hohen und geschätzten Kompetenz einerseits und seiner fröhlichen und menschlichen Art andererseits in der Lage war, eine exzellente Gruppe junger Wissenschaftler für seine geplanten Projekte zu engagieren. So muss man die im Folgenden grob umrissenen Entwicklungen als Leistung seines ganzen Teams verstehen.

Nach Abschluss seines Studiums im Jahr 1967, mit einer Dissertation über "Die Laufzeiten von Nahbebenwellen für Wien", beschäftigte er sich im Rahmen der Internationalen Hydrologischen Dekade mit Eisdickenmessungen im Dachsteinmassiv. Aber schon 1968 entschloss sich Wolfgang Seiberl den Sprung in die angewandte Praxis zu wagen und ein Engagement in Südafrika anzunehmen. Diese Entscheidung sollte sein weiteres berufliches Leben bestimmen. Bei der Bergbaufirma "The Messina, TVL, Development Co. Ltd" war er der geophysikalischen Abteilung, mit Sitz in Johannesburg, zugeteilt. In den Jahren 1970 bis 1973 war er Leiter der geophysikalischen Abteilung und für die Durchführung zahlreicher Explorationsvorhaben im Bereich Rohstoffgeologie in Südafrika, Zimbabwe und Namibia verantwortlich. Für seine später so erfolgreiche Tätigkeit in Österreich waren Aufbau, Planung und Organisation von aerogeophysikalischen Projekten eine äußerst wertvolle Erfahrung. Für die aerogeophysikalischen Projekte stand ein Flugzeug mit allen erforderlichen Messsystemen zur Verfügung.

Es wäre aber nicht der Forscher Wolfgang Seiberl gewesen, wenn er ein Angebot von Univ.

#### HERMANN J. MAURITSCH (1)

Prof. Dr. Rudolf Gutdeutsch, dem Nachfolger von Univ. Prof. Dr. Max Toperczer an der Universität Wien, seine wissenschaftliche Laufbahn an der Universität Wien fortzusetzen, ausgeschlagen hätte. Erinnert man sich an die große Begeisterung, mit der Wolfgang Seiberl über seine, gemeinsam mit seiner jungen Familie in Südafrika verbrachte Zeit erzählte, dann konnte man nachempfinden, wie schwer diese Entscheidung allerdings war.

In Wien begann Wolfgang Seiberl als Mitglied eines Teams bestehend aus Mitarbeitern der Zentralanstalt für Meteorologie und Geodynamik (ZAMG), der Geologischen Bundesanstalt (GBA) sowie dem Institut für Geophysik der Universität Wien mit der Neubearbeitung der Verteilung der erdmagnetischen Elemente unter dem Einfluss der Säkularvariation. Die im Abstand von fünf



#### Abb. 1.

Die Verteilung der erdmagnetischen Elemente in Österreich. Arbeiten aus der Zentralanstalt für Meteorologie und Geodynamik, Heft 14, Wien, 1975.

<sup>(1)</sup> Montanuniversität Leoben, Lehrstuhl für Angewandte Geophysik, Peter-Tunner-Straße 25, 8700 Leoben.

bzw. zehn Jahren erschienenen "Arbeiten aus der Zentralanstalt für Meteorologie und Geodynamik" (Abb. 1) ergaben ein aktuelles Bild über das Erdmagnetfeld in Österreich mit einem Text- und ausführlichen Kartenteil. Diese Arbeiten stellten eine unverzichtbare Grundlage für die laufenden magnetischen Detailvermessungen in verschiedenen Gebieten Österreichs dar. Im Rahmen des Hochschulschwerpunktes N-25 "Geologischer Tiefbau der Ostalpen" interpretierte er die Anomalien des Erdmagnetfeldes als geophysikalische Abbildungen geologischer Strukturen. Dazu erhob er flächendeckend die magnetische Suszeptibilität der anstehenden Gesteine. Seine Arbeiten an der Interpretation des Schwere- und des Magnetfeldes des Bundesgebietes hat er in seiner Habilitationsschrift "Die Transformation des Schwere- und Magnetfeldes im Bereich der Ostalpen" zusammengefasst. Seine Mitarbeit an den magnetischen Karten des "prätertiären" Untergrundes des Steirischen- und des Südlichen Wiener Beckens stellten einen großen Fortschritt im Verständnis der Abbildung von geologischen Verhältnissen des Untergrundes im magnetischen Restfeld dar.

#### Abb. 3.

Hubschraubergeophysik der Geologischen Bundesanstalt. © Geologische Bundesanstalt.



Abb. 2. Aeromagnetik von Österreich, Verteilung der Totalintensität (HOFMANN & SCHÖNLAUB, 2007: 52).

Die aerogeophysikalische Vermessung Österreichs begann mit der Befliegung von Vorarlberg und Nordtirol Ende der 1970er Jahre durch die britische Firma Hunting Geology and Geophysics Ltd. Die Vermessung erfolgte mit einem Flächenflugzeug (Abb. 2).

1980 startete das Projekt "Aerogeophysik in den Österreichischen Alpen" als Gemeinschaftsprojekt der GBA und der Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (BGR) in Hannover. Mit der Auswertung sowie der Organisation des Projektes in den Kitzbüheler Alpen konnten erste wertvolle Erfahrungen gesammelt und erste Ergebnisse



erzielt werden. Bei den rauen topografischen Verhältnissen in Österreich hat Wolfgang Seiberl mit der Planung einer Hubschraubergeophysik an der GBA begonnen. Aus organisatorischen Gründen wurde er mit einer halben Dienstverpflichtung der GBA zugeteilt und von der zuständigen Bundesministerin Dr. Hertha Firnberg zum Abteilungsleiter der Fachabteilung Geophysik ernannt.

Durch gute persönliche Kontakte zum Österreichischen Bundesheer gelang ihm eine langfristige Vereinbarung, dass Hubschrauber des Bundesheeres (Sikorsky, USA) Messflüge durchführen konnten (Abb. 3). Die instrumentelle Weiterentwicklung und die Erhaltung der erworbenen Kompetenz des ganzen Teams wurde über längerfristige Projekte bzw. Programme wie "Vollzug des Lagerstättengesetzes", die prä-alpidische Kruste in Österreich, der Bund-Bundesländer Projekte oder Forschungsprojekte im Rahmen des FWF, Geophysik der Erdkruste der Österreichischen Akademie der Wissenschaften (ÖAW) oder anderer Körperschaften gesichert. Die wichtigsten Themenkreise waren die Rohstoffgeologie, die Hydrogeologie sowie die Ingenieurgeologie mit dem Schwerpunkt "Große Massenbewegungen".

Auf Grund seiner reichen Erfahrung bei der Auswertung aerogeophysikalischer Vermessungen in der Rohstoffprospektion baute er auch eine Arbeitsgruppe für die Bodengeophysik auf. Dazu gehörten Methoden der Geoelektrik, der Elektromagnetik und besonders der Induzierten Polarisation. Diese Methoden wurden zur Absicherung der Interpretation der Hubschraubervermessungen herangezogen.

Seit Mitte der 1970er Jahre wurden, ausgelöst durch die sogenannte Energiekrise, von der GBA und einzelnen Bundesländern, wie z.B. der Steiermark, "Rohstoffinventuren" durchgeführt. Die bodengeophysikalischen Ergebnisse zum Beispiel der VALL (Vereinigung für Angewandte Lagerstättenforschung, Leoben) stellten dabei in einzelnen Messgebieten eine wichtige "ground truth" Information für die Planung und Interpretation der Aerogeophysik dar. Die Erzprospektion in den Schladminger Tauern, die Grafitprospektion in der Böhmischen Masse oder der Raum Gleichenberg sind gute Beispiele für eine gute Kooperation mit dem Institut in Leoben. Für die Interpretation aeroelektromagnetischer Vermessungen führte Wolfgang Seiberl, im Rahmen von Diplomarbeiten und Dissertationen, die Anwendung neuronaler Netze ein.

Wolfgang Seiberl war aber auch ein korrekter und fairer Partner, wenn es um Kooperationen ging. So konnte mit ihm eine "Arbeitsgemeinschaft Leoben-Wien" gegründet werden, die in der Organisation und Durchführung wegweisend war. Der Problemkreis, der eine Zusammenführung der Kapazitäten von GBA und dem Institut für Angewandte Geophysik in Leoben sinnvoll machte, waren Untersuchungen von Rutschungen unterschiedlicher Dimension und geologischer Rahmenbedingungen sowie die Rohstoffforschung. Die Magnetik und die Leitfähigkeitsmethoden der GBA wurden um die seismischen und thermischen Verfahren erweitert. Ein Projekt, in dem die Grenzen der Aussagekraft bezüglich Tiefe des Gleithorizontes, Mechanik des Rutschvorganges sowie der Erfassung der Größe des Rutschkörpers in den verschiedenen Methoden erfasst wurden, konnte im Nassfeld-Gebiet, unmittelbar südlich der Periadriatischen Störung, durchgeführt werden. Die Auswertung der Elektromagnetik ermöglichte unter Einsatz neuronaler Netze eine genauere Charakterisierung der Abrissbereiche und damit Erfassung einzelner Rutschkörper.

Der Frage der möglichen Früherkennung von Rutschvorgängen durch Veränderungen in den bodenphysikalischen Parametern ging ein von Wolfgang Seiberl angeregtes Projekt nach. In einem nahezu zweijährigen Beobachtungszeitraum eines Rasterfeldes in der Gemeinde Sankt Marein-Feistritz konnte unter idealen Messbedingungen ein maximaler Vorlauf von fünf Tagen erkannt werden.

Zu guter Letzt soll auch noch auf die Einsatzmöglichkeiten der Hubschraubergeophysik bei Umweltproblemen hingewiesen werden. Das Aufsuchen von illegalen Deponien oder der Nachweis von radioaktiven Kontaminationen nach Reaktorstörfällen sind leider hochaktuelle Probleme unserer Zeit. Die Ausrüstung des Hubschraubers mit einer radiometrischen Messeinrichtung, ursprünglich zum Nachweis natürlicher Strahler konzipiert, hat sich nach der Katastrophe von Tschernobyl im Jahr 1986 bestens bewährt (Abb. 4).

Neben all diesen Projekten war Wolfgang Seiberl als Forscher und Lehrer sehr erfolgreich. Er betreute 30 Diplomarbeiten und acht Dissertationen. Er hinterließ ein wissenschaftliches Werk von 120 Publikationen und ein wesentliches Kapitel über Aerogeophysik im Lehrbuch "Angewandte Geophysik" (SEIBERL, 1985). Ein Großteil



der Erfahrungen aus nahezu allen Gebieten der Geowissenschaften liegt in 141 unveröffentlichten Berichten vor.

Zusammenfassend kann festgehalten werden, dass der Beitrag von Wolfgang Seiberl zur Geophysik Österreichs wohl nur schwer in einem kurzen Referat darstellbar ist. Ich habe mich bemüht, in Streiflichtern die große Breite seines Schaffens und seiner Ideen zu beleuchten. Die angewandte Geophysik und speziell die Aerogeophysik mit all ihren Anwendungsmöglichkeiten wäre ohne seine grundlegenden Planungen sehr schwer vorstellbar. Seine erfolgreiche Personalpolitik sollte Garantie dafür sein, dass sein wissenschaftliches Erbe bestens verwaltet und vermehrt wird.

Einen ausführlichen Nachruf auf Wolfgang Seiberl mit Publikationsverzeichnis verfassten HOFMANN et al. (2016) im Jahrbuch der Geologischen Bundesanstalt. Abb. 4.

Bodenbelastung durch Caesium nach dem Reaktorunfall in Tschernobyl (UMWELTBUNDESAMT, 2003).

#### Literatur

- HOFMANN, T. & SCHÖNLAUB H.P. (Hrsg.) (2007): Geo-Atlas Österreich – Die Vielfalt des geologischen Untergrundes. – 111 S., Wien (Böhlau).
- HOFMANN, T., ARIC, K., BRÜCKL, E. & EICHBERGER, H. (2016): Univ. Prof. i.R. Dr. Wolfgang Seiberl (23. Jänner 1941 – 1. Juni 2016). – Jahrbuch der Geologischen Bundesanstalt, **156**, 5–18, Wien.
- SEIBERL, W. (1985): Ausgewählte Kapitel der Aerogeophysik. In: MILITZER, H. (Hrsg.) & WEBER, F. (Hrsg.): Angewandte Geophysik, **2**, 342–360, Wien.
- UMWELTBUNDESAMT (2003): Bodenbelastung durch Cäsium-137 bezogen auf 1. Mai 1986. – http://www.umweltbundesamt. at/fileadmin/site/umweltthemen/kernenergie/Oesterreich/ Caesiumkarte\_1986.pdf (abgerufen am: 20.03.2017).

## Die Rolle von Kalkstein, Dolomit und Mergel in der Fachabteilung Rohstoffgeologie der Geologischen Bundesanstalt

BEATRIX MOSHAMMER (1) & MARIA HEINRICH (2)

#### Aufgabengebiete

Kalkstein, Mergel und Dolomit bilden einen wesentlichen Teil der Karbonatgesteine in Österreich, speziell auch der Umgebung des Tagungsortes und sie sind wichtige Rohstoffe. Im Folgenden sind hier ausschließlich Festgesteine gemeint. Unter diesen treten Mergelsteine, gemessen an der Zahl abgebauter Vorkommen, sehr zurück. Magnesit hingegen wird als Industriemineral den klassischen Rohstoffen zugeordnet und hier nicht behandelt.

Folgende Aufgabenbereiche sind mit den Karbonatgesteinen in der Abteilung verbunden:

- Archiv und Datenbank.
- Rohstoffgeologische Landesaufnahme und Mitarbeit an geologischen Karten und Erläuterungen.
- Stellungnahmen in Verfahren nach dem Mineralrohstoffgesetz.
- Aufbewahrung von lagerstättenkundlichen Unterlagen und Bohrkernen von Betrieben.
- Grundlagenforschung und Methodenentwicklung.
- Rohstoffforschung und Rohstoffbewertung.
- Beantwortung von Anfragen, Information und Publikation sowie Öffentlichkeitsarbeit.

Den Grundstock an Information bildet die bundesweite, systematische Sammlung von unveröffentlichten und veröffentlichten rohstoff- und lagerstättenspezifischen Unterlagen im Archiv der Fachabteilung. Im Zuge von österreichweiten, regionalen oder lokalen, detaillierten Untersuchungen erweitert sich der Informationsschatz ständig. Die Untersuchungen erfolgen einerseits in Form von Projekten und andererseits im Zuge der rohstoffgeologischen Landesaufnahme. Der Rohstoffaspekt in der geologischen Landesaufnahme setzt die Bearbeitung der Karbonatrohstoffe in Zusammenarbeit mit den Bearbeitern der jeweiligen geologischen Karten voraus und mündet in die Auswahl der auf der geologischen Karte symbolisch dargestellten Abbaue und den Erläuterungsbeitrag über die Gesteinsnutzung.

Eine weitere wichtige Aufgabe ist die Wahrung der im Mineralrohstoffgesetz (MinroG) verankerten Rechte der Geologischen Bundesanstalt. Sie ermöglicht den ständigen Kontakt mit den Rohstoffbetrieben und damit mit den wirtschaftlichen Aspekten der Rohstoffgeologie. Punkto Karbonatrohstoffe handelt es sich dabei einerseits um Stellungnahmen zur Prüfung des Rohstoffnachweises bei der Erweiterung, oder im Vorfeld der Eröffnung eines Rohstoffabbaus und andererseits um das Anhörungsrecht beim Verfahren von Abschlussbetriebsplänen. Die Kalksteine nehmen im MinroG insofern eine Sonderstellung ein, als sie je nach Gesteinschemismus entweder als bergfreier mineralischer Rohstoff (§ 3, Z 4) deklariert werden, oder zu den grundeigenen mineralischen Rohstoffen (§ 5) gezählt werden. Hochwertige Lagerstätten mit > 95 % Kalziumkarbonat sind demnach den ministeriellen Montanbehörden unterstellt. Unreinerer Kalkstein, ebenso wie Mergel und Dolomit, sind nach dem aktuellen MinroG innerhalb der grundeigenen mineralischen Rohstoffe mit dem Großteil der anderen Gesteine vereint und werden von den Bezirksbehörden verwaltet, sofern nicht z.B. untertägige Betriebsanlagen hinzukommen. Im Zuge der Stellungnahmen zu Abschlussbetriebsplänen geht es oft nicht nur um den Rohstoffaspekt, sondern um Sicherungsmaßnahmen, was erst durch die Zusammenarbeit mit weiteren Abteilungen des Hauses, wie Ingenieurgeologie oder Hydrogeologie, Sinn ergibt. Eine weitere Aufgabe stellt die Übernahme bergbaurelevanter Unterlagen, Bohrungen etc. in den Sammlungsbestand der Geologischen Bundesanstalt (GBA) dar, die nicht mehr von den Firmen aufbewahrt werden. Das und die anlässlich der MinroG-Verfahren erworbenen Informatio-

 $<sup>(1) \ {\</sup>it Geologische Bundesanstalt, Neulinggasse 38, 1030 \ Wien. \ beatrix.moshammer@geologie.ac.at}$ 

<sup>(2)</sup> Marxergasse 37/5, 1030 Wien.

nen und Kenntnisse fließen in das Archiv ein und schließen so den Kreis zur ständigen Erweiterung des Informationsgrundstockes.

#### Abbau-Archiv der Fachabteilung Rohstoffgeologie und systematische Rohstofferhebungen

Der historische und sukzessiv erweiterte Archiv-Grundstock des rohstoffgeologischen Datenbestandes orientiert sich als Ordnungsprinzip an Abbaustellen. Die aufgelassenen und aktiven Abbaustellen werden dabei nicht nur als konkreter Einzelfall wahrgenommen, sondern als Repräsentanten von Vorkommen und Lagerstättentypen. Die Akten- und Unterlagen-Sammlung ist im Wesentlichen noch analog, wird aber zunehmend digital aufgearbeitet. Das Archiv ist nach BMN-Kartenblättern 1:50.000 geordnet und durch ein Datenbanksystem nach vielerlei Kategorien, wie räumliche Lage, geologische Zuordnung, Information zu Rohstoffen, Abbaugebieten, Erhebungsstatus, Abbaufirma etc. abfragbar und darstellbar. Zu den Abbauen und Vorkommen gehörige Fotos sind bereits digitalisiert, zugehörige Berichte und Bohrungen harren noch der digitalen Aufarbeitung. Wesentlich ist, dass einerseits für die Abbaustandorte Aktualität dadurch gegeben ist, dass z.B. bei MinroG-Verfahren oder nach abgeschlossenen Rohstoffprojekten erhobene Informationen eingepflegt werden, dass weiters Datenaustausch mit den Bundesländern gegeben ist und andererseits auch Rohstoffeignungsgebiete für eine potenzielle, künftige Nutzung darin gesammelt werden. Begünstigt durch die GIS-Technologie können immer mehr flächige Informationen mit der punktorientierten Datenbank verknüpft werden.

Systematische, in bundes- und länderweiten Projekten organisierte Untersuchungen der Karbonatrohstoffe liegen österreichweit hinsichtlich Steinbrucherhebungen und Rohstoffverwendungen vor. Sie beinhalten thematische oder regionale Geländeerhebungen mit Gesteinsbeschreibungen, teilweise darüber hinausgehende petrografische Untersuchungen, chemische und manchmal weißmetrische Analytik sowie Festigkeitsbestimmungen. Auf all das kann heute aufgebaut werden. Selbstverständlich sind Untersuchungen, die von den Firmen selbst im Vorfeld einer Abbaueröffnung oder einer Erweiterung in Hinblick auf Rohstoffeignung durchgeführt werden, wesentlich konzentrierter, aber unter dem Blickwinkel einer österreichweiten Vergleichbarkeit der relevanten Karbonatschichtglieder sind mosaikartig zusammengetragene monografische, regionale, im günstigen Fall auch durch übergreifende bundesweite Projekte abgeglichene Daten sehr hilfreich. Ohne sie hätten z.B. die Bewertungen im Zuge des Österreichischen Rohstoffplanes nicht durchgeführt werden können (MOSHAMMER, 2012).

## Grundlagenforschung, Methodenentwicklung und Forschungskooperationen

Auch Marmorzüge lassen sich im komplexen alpinen Orogen zur tektonischen Gliederung heranziehen. Strontium-Isotopen-Signaturen (87Sr/86Sr) weisen unter Umständen in chemisch reinen Marmoren noch die Meerwasser-Signatur ihrer Sedimentationszeit auf und können daher stratigrafisch eingeordnet werden. Am Rohstoffsektor sind chemisch reine und weiße Marmore sehr gesucht und standen daher im Fokus einer Rohstoffstudie, für die weißmetrische Untersuchungen an der GBA durchgeführt wurden. Ausgewählte Marmorproben ließen in ihrer Strontium-Isotopie Hinweise für eine stratigrafische Gruppierungsmöglichkeit erkennen, die rein petrografisch nicht in dieser Form möglich ist. Durch die von Ralf Schuster kompilierten und veranlassten Sr-Isotopen-Untersuchungen und die mit weiteren C- und O-Isotopen- und relevanten geochemischen Signaturen befasste Dissertation von Barbara Puhr konnten Zusammenhänge präzisiert werden (PUHR, 2012), die wertvolle lithostratigrafische Fakten liefern. Innerhalb des Koralpe-Wölz-Deckensystems sind demzufolge zwei Marmor-Gruppen zu unterscheiden. Sie treten innerhalb des Deckensystems in verschiedenen Komplexen auf. Es ist dies zum einen die Marmor-Gruppe, die mittlerweile von SCHUSTER et al. (2014) als Bretstein-Lithodem bezeichnet wurde und welche die zahlreichen Marmore aus dem Rappold-, Plankogel- und Koralpe-Saualpe-Komplex zusammenfasst (neben Bretstein-Marmoren führen sie u.a. die Lokalbezeichnungen Salla-, Eppensteiner, Stelzing-, Plankogel-, Hüttenberger-, Kogelhof- und Sieggrabener Marmor). Die zweite Gruppe umfasst die bisher nicht zu einem Lithodem vereinigten Gummern- oder Millstätter Marmore, Tiffener, Sölker und Gumpeneck-Marmore und weitere nicht bezeichnete Marmore, die im Wölz-, Greim-, Millstatt-, und Radenthein-Komplex liegen. Das Bildungsalter ersterer ergibt sich anhand des Vergleichs mit der Strontium-Meerwasserkurve als unter- bis mitteldevonisch, und ihre nicht bis geringer metamorphen Äquivalente werden in Teilen des Grazer Paläozoikums angenommen. Die zweite Gruppe weist aufgrund der Proben aus dem Millstatt-Komplex auf ein Sedimentationsalter zwischen oberstem Silur und unterstem Devon hin. Als ihre nicht- bis schwach-metamorphen Äquivalente werden Karbonate in den Karnischen Alpen, der Gurktaler Decke oder der Grauwackenzone betrachtet (SCHUSTER et al., 2013). Weitere Isotopen-Untersuchungen werden laufend gemacht, und sollen helfen, ebenso wie radiometrische Altersdatierungen, vergleichbare Gesteinseinheiten in bisher nicht eindeutig geklärtem tektonischem Umfeld, z.B. in Teilen der Grauwackenzone, zu erkennen.

Im dritten Arbeitsjahr läuft zurzeit ein FWF-Projekt in interdisziplinärer Zusammenarbeit von Geologie und Archäologie, angesiedelt am Institut für Kulturgeschichte der Antike der Österreichischen Akademie der Wissenschaften (ÖAW). Unter der Leitung von Gabrielle Kremer (KREMER & KITZ, 2016; KRONBERGER et al., 2016; ROHATSCH et al., 2016) geht es um die Gesteinsbestimmung und geologische Provenienzuntersuchung antik verwendeter Bau- und Werksteine für die damaligen Legionsstandorte Wien und Carnuntum, die aus dem lokalen und regionalen Umfeld bezogen wurden. Es handelt sich dabei um Kalksteine, Brekzien und untergeordnet Sandsteine aus dem oberen Miozän, allen voran verschiedene karbonatfazielle Ausbildungen der Kalkrotalgen-dominierten Leitha-Kalke, aber auch gemischt siliziklastische Kalke, Lumachellen und Oolithe aus dem Sarmatium. Die detaillierte Fragestellung bietet die Möglichkeit, Gesteinsverbreitung, Gesteinsmerkmale, Stratigrafie der Schichten und deren Rohstoffbedeutung anhand der ehemaligen Abbaugebiete rund um das südliche Wiener und Eisenstädter Becken sowie der Hainburger Berge zu eruieren. Bei Werksteinen, die für archäologisch datierte römische Objekte (Weihealtäre, Inschriftentafeln usw.) verwendet wurden, wird getrachtet, die geologische Herkunft der zusammengefassten Lithotypen zu einzelnen Abbaugebieten so präzise wie möglich anzugeben, damit darauf eine archäologische Siedlungs-, Wirtschafts- und Kulturgeschichte der Beziehungen zwischen den römischen Lagern bzw. Städten am Donau-Limes und ihrem Hinterland aufgebaut werden kann. Neben der makro- und mesoskopischen lithologischen Vergleichsanalyse zwischen archäologischen Objekten und Proben aus den Steinbrüchen oder äquivalenten Vorkommen wird der Einsatz einer zerstörungsfreien Methode getestet, um makroskopisch einheitlich erscheinende Kalkarenite zu gliedern. Ein mobiles Spektralfotometer Marke Niton-XL3t misst semiguantitativ ein bestimmtes chemisches Elementspektrum. Dieses ist geeignet, um einzelne ausgewählte chemische Elemente als vergleichende Parameter anzugeben, wohingegen eine chemische Analyse daraus nicht abgeleitet werden kann. Manchmal erschwerend für den Vergleich mit Gesteinsproben ist der bei den Objekten auftretende sekundäre und anthropogene Einfluss durch Lagerung und Oberflächenbehandlung. Die aus den Steinbrüchen und Archiven für das Projekt geschaffene Vergleichssammlung aus Probenanschliffen und ein für die damit befassten Archäologen ausgearbeiteter Schlüssel zur Gesteinsbestimmung der Objekte wird erstellt. Die mikrofazielle Auswertung stellt den litho- und biostratigrafischen Beitrag zur Kenntnis dieser Karbonatgesteine dar. Federführend im geologischen Part ist Andreas Rohatsch (Technische Universität Wien). Wesentliche Vorarbeit für dieses Projekt entstand im Rahmen der Bearbeitung von "Historic Quarries" (http://www.historic-quarries.org/), vor allem bezogen auf den im militärischen Sperrgebiet befindlichen nordöstlichen Teil des Leithagebirges (BEDNARIK et al., 2014).

#### Nutzungsoptionen der Karbonatgesteine

Immer wieder gilt es im Rohstoffbereich Nutzungsoptionen aufzuzeigen bzw. diese anhand aktueller oder historischer Nutzung zu beleuchten. Dies konnte am Beispiel der im Trauntal vorhanden Steinbrüche exemplarisch vor rund zehn Jahren dargestellt werden (MOSHAMMER, 2017). Da Naturwerksteine als Bau- und Dekorstein einst, z.B. im Verkehrswegebau, wesentlich stärkere Bedeutung hatten, sind heute viele Abbaustellen verlassen und rekultiviert. Eine Rarität im weiteren Umkreis ist die NNW des Schwarzensees kleinräumig abgebaute bunte Kalkbrekzie aus dem Unterjura, die als "Schwarzenseer Marmor" im Handel verbreitet ist (LOBITZER et al., 2014; MOSHAMMER & LEUPRECHT, 2005). Wurf- und Wasserbausteine sind wesentliche Produkte, die aus norischem Dachsteinkalk bei Roith sowie Wettersteinkalk nahe Weißenbach am Attersee gewonnen werden. Branntkalk-Eignung und Herstellung von Putzsanden zeichnet den Rohstoff im schon sehr weit fortgeschrittenen Abbau des rhätischen Dachsteinkalks am Starnkogel aus (Exkursionspunkt 1A). Südöstlich von Ebensee befindet sich der bergaufwärts verlagerte Etagenbruch Pfeiferkogel, der aus Dachsteinkalk die reine Kalkkomponente für die Zementherstellung in Pinswang bei Gmunden liefert. Die Mergelkomponente für dieses Zementwerk wird nach wie vor nahe dem Industriegelände selbst abgebaut, wobei es sich um die jüngsten Anteile der rhenodanubischen Flyschzone handelt (Ahornleiten Subformation der Altlengbach-Formation; EGGER, 2007). Der Abbau in Karbach am Traunsee-Ostufer vis-á-vis von Traunkirchen hat den Steinbruch-begründenden oberjurassischen Plassenkalk vom Hochlindach bereits vollständig abgebaut, womit der im Hinblick auf Chemismus hochwertigste Anteil wegfällt. Der Abbau nützt die übrigen kalkigen bis kieseligen Schichtglieder von Obertrias bis Jura, besonders Brekzien der Grünanger-Formation, zur Herstellung von Straßenbaumaterial, wodurch die ehemals charakteristische Felskulisse wegfiel. Die roten Kalkbrekzien wurden einst auch als Dekorstein verarbeitet und als Traunsee-Marmor bezeichnet.

#### Ziele und wünschenswerte Querverbindungen

Nachhaltige Rohstoffsicherung und Rohstoffnutzung sind zwei sich nicht ausbalancierende Waagschalen. Rohstoffrecycling wird zunehmend wichtiger. Punkto Lagerstättenschutz sind außerdem seit jeher das bestmögliche Ausbringen und eine möglichst hochwertige Verwendung des Rohstoffes immer dringender geboten. Die bisher genutzten Rohstoffvorkommen sind zunehmend erschöpft und stellen, soweit sie nicht durch andere Nutzungen besetzt sind, immer größere Anforderungen an ihre Aufschließungen. Es scheint daher ein gemeinsames Vorgehen und gegenseitig ergänzende Informationen von mehreren Seiten, wie Raumplanung, Montanindustrie, Research & Development (R&D) im Hochschulbereich sowie Behörden immer wichtiger zu werden. Mit den eigenen Beiträgen, den laufend gesammelten und zur Verfügung gestellten geologischen Daten bindet sich die GBA-Karbonatrohstoffforschung in dieses Netz ein.

#### Literatur

BEDNARIK, M., MOSHAMMER, B., HEINRICH, M., HOLZER, R., LAHO, M., RABEDER, J., UNTERWURZACHER, M. & UHLIR, C. (2014): Engineering geological properties of Leitha Limestone from historical quarries in Burgenland and Styria, Austria. – Engineering Geology, **176**, 66–78, Amsterdam.

- EGGER, H. (2007): Erläuterungen zur Geologischen Karte der Republik Österreich 1:50.000, Blatt 66 Gmunden. – 66 S., Geologische Bundesanstalt, Wien.
- KREMER, G. & KITZ, I. (2016): Steindenkmäler und Steingewinnung Neue interdisziplinäre Forschungen im Rahmen des CSIR Carnuntum. In: HUMER, F., KREMER, G., POLLHAMMER, E. & PÜLZ, A. (Hrsg.): Akten der 3. Österreichischen Römersteintagung 2.-3. Oktober 2014, Hainburg a. d. Donau. Amt der NÖ Landesregierung, Abteilung Kunst und Kultur, 71–85, Wien.
- KRONBERGER, M., MOSSER, M. & INSULANDER, S. (2016): Gesteinsbestimmung an Römersteinen aus Vindobona Lösungsansätze, erste Ergebnisse und Perspektiven aus archäologischer Sicht. In: HUMER, F., KREMER, G., POLLHAMMER, E. & PÜLZ, A. (Hrsg.): Akten der 3. Österreichischen Römersteintagung, 2.–3. Oktober 2014, Hainburg a. d. Donau. Amt der NÖ Landesregierung, Abteilung Kunst und Kultur, 87–99, Wien.
- LOBITZER, H., PLÖCHINGER, B., SIBLIK, M., SZENTE, I., HRADECKA, L., SVABENICKA, L. & SVOBODOVA, M. (2014): Erläuterungen zur Kartenlegende. Nördliche Kalkalpen. – In: VAN HUSEN, D. & EGGER, H.: Erläuterungen zur Geologischen Karte der Republik Österreich 1:50.000, Blatt 65 Mondsee, 26–43, Geologische Bundesanstalt, Wien.
- MOSHAMMER, B. (2012): Hochwertige Karbonatgesteine und Mergel. – In: WEBER, L. (Hrsg.): Der Österreichische Rohstoffplan. – Archiv für Lagerstättenforschung der Geologischen Bundesanstalt, **26**, 170–191, Wien.
- MOSHAMMER, B. (2017): Exkursion 1A (20.06.2017): Kalksteinbruch Starnkogel. – Tagungsband zur Arbeitstagung der GBA 2017, 295–305, Wien.
- MOSHAMMER, B. & LEUPRECHT, M. (2005): Zur Stratigraphie, Fazies und Geochemie des Schwarzenseemarmors (Lias, Schafberg-Tirolikum, Oberösterreich). – Jahrbuch der Geologischen Bundesanstalt, **145**/1, 79–106, Wien.
- PUHR, B.J. (2012): Metamorphic evolution and geochemistry of metacarbonate rocks of the Austroalpine Basement (Eastern Alps). – Unpublizierte Dissertation, Karl-Franzens-Universität Graz, 149 S., Graz.
- ROHATSCH, A., MOSHAMMER, B., HODITS, B., DRAGANITS, E. & HEINRICH, M. (2016): Steindenkmäler und Steingewinnung im Raum Carnuntum-Vindobona – Vorstellung des geologischen Teils eines interdisziplinären Projektes. – In: HUMER, F., KREMER, G., POLLHAMMER, E. & PÜLZ, A. (Hrsg.): Akten der
  3. Österreichischen Römersteintagung, 2.–3. Oktober 2014, Hainburg a. d. Donau. – Amt der NÖ Landesregierung, Abteilung Kunst und Kultur, 177–183, Wien.
- SCHUSTER, R., HOINKES, G., PUHR, B., RICHOZ, S. & MOSHAMMER, B. (2013): Chemostratigraphic constraints of marbles from the medium-grade, partly polymetamorphic Austroalpine Basement (Eastern Alps). – Berichte der Geologischen Bundesanstalt, **99**, 84, Wien.
- SCHUSTER, R., SCHANTL, P., ILICKOVIC, T., MOSHAMMER, B., KRENN, K., PUHR, B., BRANDNER, K., PROYER, A., RICHOZ, S. & HOINKES, G. (2014): Excursion 4: Grazer Paläozoikum und Ostalpines Kristallin im Bereich nördlich von Weiz: Neues zur Tektonik und Lithostratigraphie. – Berichte des Instituts für Erdwissenschaften der Karl-Franzens-Universität Graz, **20**/2, 53–75, Graz.

## Das Projekt IRIS – Nutzbare Locker- und Festgesteine in Österreich im Rahmen der Initiative GBA-Forschungspartnerschaften Mineralrohstoffe

MARIA HEINRICH (1), PIOTR LIPIARSKI (2), IRENA LIPIARSKA (2), JULIA RABEDER (2), HEINZ REITNER (2), BARBARA TRÄXLER (2) & THOMAS UNTERSWEG (3)

#### Zusammenfassung

Ziel des Vorhabens ist es, Informationen zu natürlichen Vorkommen von Kiesen, Sanden, Tonen und Natursteinen in einer Erweiterung des Rohstoffinformationssystems IRIS darzustellen. Das Ergebnis soll der Erleichterung des offenen Zuganges zu geologischen Informationen betreffend die natürlichen Vorkommen von nutzbaren Locker- und Festgesteinen dienen. Zugleich wird ein zukunftsorientiertes Grundlagen-Instrumentarium im Spektrum der heimischen Rohstoffvorsorge geschaffen.

Aufbauend auf den Vorarbeiten und Ergebnissen des Österreichischen Rohstoffplanes (WEBER, 2012) und auf weiterführenden Baurohstoff-Projekten im Rahmen des Vollzugs des Lagerstättengesetzes (Fortschreibung der Lockergesteinskarte, Erkundung der Mächtigkeit von Lockersedimentkörpern, Erforschung der Vorkommen regenerativer Baurohstoffe) wird an der Abgrenzung und Beschreibung von Baurohstoff-Bezirken für Locker- und Festgesteine gearbeitet. Die geografische Darstellung und die Beschreibung der Bezirke werden in einer Webapplikation auf der Homepage der Geologischen Bundesanstalt (GBA) zugänglich sein. Die ersten Ergebnisse liegen für die Steiermark vor, es werden 25 Kies-Sand-Bezirke abgegrenzt und beschrieben. In Niederösterreich sind etwa 100 Lockergesteinsbezirke abgegrenzt und digitalisiert, die Beschreibung ist weit fortgeschritten. Die Abgrenzung der Kies-Sand-Bezirke Oberösterreich und Salzburg ist abgeschlossen, Tirol ist im Gange. Auf Basis der Ergebnisse des Projektes "Regenerat Österreich" (PFLEIDERER et al., 2016) wurden im alpinen Bereich des Bundesgebietes die Schwemmfächer- und Schuttkegel-Bezirke definiert und digitalisiert (insgesamt über 800), die rohstoffgeologische Auswahl und

Beschreibung steht noch aus. Der Zeitplan sieht eine Fertigstellung des Projektes bis Ende 2018 vor.

#### Einleitung

Bisherige internationale geologische Aktivitäten bezüglich Rohstoffvorsorge beziehen sich vorwiegend auf die klassischen Rohstoffe. Kein Baurohstoff ist bisher als kritisch in das Blickfeld der Europäischen Union (EU) geraten, wiewohl in manchen Ländern und Regionen die Versorgung mit Baurohstoffen bereits schwierig ist. Gerade bei den in großen Mengen gebrauchten Baurohstoffen ist im Sinne nachhaltiger Entwicklung aus Umwelt- und wirtschaftlichen Gründen eine weit vorausschauende Kenntnis der Vorkommen angebracht.

Wiewohl im Österreichischen Rohstoffplan (WEBER, 2012) angemessen berücksichtigt, sind im interaktiven Rohstoffinformationssystem IRIS (www.geologie.ac.at, Webapplikationen) die Baurohstoffe (Locker- und Festgesteine) bisher nur mit wenigen Ausnahmen (betreffend Industriegesteine, die manchmal auch als Baurohstoffe genutzt werden) enthalten.

Eine Harmonisierung der Ergebnisse der in den letzten Jahren durchgeführten Baurohstoff-Projekte und Daten sowie die Implementierung als Webanwendung IRIS-Baurohstoffe ist ein notwendiger Schritt, nicht nur als Grundlage für die heimische Rohstoffvorsorge, sondern auch im Hinblick auf die Umsetzung der INSPIRE-Richtlinie, die Versorgung der Minerals4EU-Datenbank (*http:// minerals4eu.brgm-rec.fr/minerals4EU/*) mit Informationen und die Teilnahme am ERA-NET-Programm "raw materials topic" (ERA-NET Cofund on Raw Materials).

Im Zuge des Projektes wird eine Erweiterung des bestehenden, interaktiven Rohstoffinforma-

<sup>(1)</sup> Marxergasse 37/5, 1030 Wien. Maria. Heinrich@gmx.at.

<sup>(2)</sup> Geologische Bundesanstalt, Neulinggasse 38, 1030 Wien.

<sup>(3)</sup> Präbachweg 43, 8301 Laßnitzhöhe.

tionssystems IRIS um geologische Informationen zu natürlichen Vorkommen von Kiesen, Sanden, Tonen und Natursteinen in Österreich erarbeitet. Aufgebaut wird dabei auf den Erfahrungen, Vorarbeiten und Ergebnissen des Österreichischen Rohstoffplanes (WEBER, 2012) und weiterführenden Baurohstoff-Projekten im Rahmen des Vollzugs des Lagerstättengesetzes. Das Informationssystem soll einen offenen Zugang zu geologischen Informationen betreffend die natürlichen Vorkommen von nutzbaren Locker- und Festgesteinen ermöglichen und zugleich soll ein zukunftsorientiertes Grundlagen-Instrumentarium im komplexen Spektrum der heimischen Rohstoffvorsorge geschaffen werden.

In dem Projekt werden die österreichischen Vorkommen von Baurohstoffen nach geologischen Kriterien in Rohstoffbezirke eingeteilt und beschrieben. Damit geht eine Aktualisierung bestehender Datenbestände zu Art, Verbreitung und Eigenschaften der Vorkommen und eine Homogenisierung und Verbesserung des Wissensstandes einher. Die Gliederung in Rohstoffbezirke erfolgt nach räumlichen, genetisch-stratigrafischen und qualitativen geologischen Gesichtspunkten. Die Beschreibung der einzelnen Bezirke berücksichtigt Alter, Form, charakteristische Eigenschaften und Verwendungshinweise sowie Besonderheiten der Vorkommen, typische Lokalitäten werden beispielhaft angeführt. All diese Informationen ergänzen das bestehende interaktive Rohstoffinformationssystem IRIS, auf welches für das Inventar klassischer Rohstoffe wie Erze, Kohle und Industrieminerale über die Homepage der Geologischen Bundesanstalt (www.geologie.ac.at) bereits öffentlich und frei zugegriffen werden kann.

#### **Materialien und Methoden**

Behandelt werden folgende Rohstoffe: Kiese, Sande, Tone (alle im weiteren, geologischen Sinn) und Festgesteine (inklusive Karbonate und "Diabase"), die in natürlichen Vorkommen und Lagerstätten abgelagert worden sind und wesentlich im Bauwesen Verwendung finden können, inklusive Werksteine, Wurf- und Wasserbausteine. Nicht behandelt werden Industrieminerale und -gesteine, wie z.B. Gips und hochwertige Karbonate für industrielle Zwecke, sowie Außenseiter wie Diamikte.

Die in dem Projekt benutzte Arbeitsdefinition des Begriffes Rohstoffbezirk lautet:

"In einem Bezirk sollen, unter Berücksichtigung von gewissen Schwankungsbreiten, Vorkommen und Lagerstätten von gleicher oder ähnlicher Gesteinsart-Lithologie, Genese, Alter bzw. Altersgruppe, Form und von gleichen oder ähnlichen wesentlichen, verwendungsrelevanten Eigenschaften regional zusammengefasst werden. Wie bei den klassischen Rohstoffen können mehrere Bezirke flächig ineinandergreifen".

Diese geht von folgender Definition für die klassischen Rohstoffe nach WEBER (1997: 17) aus:

"Ein Bezirk ist die Gesamtheit genetisch zusammengehörender, charakteristischer Anreicherungen mineralischer Rohstoffe in einer bestimmten geologisch-tektonischen Einheit. Die Form der einzelnen charakteristischen Lagerstätten, deren Mineralparagenese, oft auch das Nebengestein sind gleichartig. In vielen Fällen zeichznet sich der Lagerstätteninhalt auch durch gleichartige geochemische und isotopengeochemische Eigenschaften aus. In vielen Fällen kann dies auf eine gleichartige Genese zurückgeführt werden. Örtlich können mehrere Bezirke flächig ineinandergreifen"

Die wichtigsten Grundlagen für die Abgrenzung und Beschreibung der Baurohstoffbezirke sind:

- Die publizierten geologischen Kartenwerke der Geologischen Bundesanstalt in den Maßstäben 1:50.000 (Vorarlberg 1:25.000) und 1:200.000 (Vorarlberg 1:100.000) sowie die GEOFAST-Karten 1:50.000 der Geologischen Bundesanstalt (KRENMAYR, 2013 bzw. GEOLOGISCHE BUNDESANSTALT, 2017),
- die Geologische Übersichtskarte Tirol 1:300.000 (BRANDNER, 1980),
- die digitale geologische Karte der Steiermark 1:50.000 des Amtes der Steiermärkischen Landesregierung, GIS-Steiermark (SCHWENDT, 1998),
- die GIS-generierte geologische Arbeitskarte von Kärnten (LETOUZÉ-ZEZULA et al., 2005),
- der digitale Arbeitsdatensatz Geologie Burgenland 1:50.000 (im Zuge der Arbeiten für "Die Gesteine der burgenländischen Weinbaugebiete" von HEINRICH et al., 2008),
- der Datensatz Angewandt-geologische digitale Arbeitskarte Niederösterreich (LIPIARSKI et al., 2012),
- der Datensatz Digitale kompilierte geologische Karte Oberösterreichs, der in der FA Rohstoffgeologie der GBA laufend ergänzt und verbessert wird (REITNER, 2014),
- der digitale Datensatz Lockergesteinskarte,
der in der FA Rohstoffgeologie der GBA laufend ergänzt und verbessert wird (UNTERS-WEG et al., 2008; HEINRICH et al., 2017),

- die Eignungsbewertungen der Baurohstoffvorkommen im Zuge des Österreichischen Rohstoffplanes (HEINRICH, 2012; MOSHAMMER, 2012; PFLEIDERER et al., 2012; WIMMER-FREY, 2012),
- die ergänzenden Mächtigkeitserhebungen zu den Lockergesteinsvorkommen (UNTERSWEG et al., 2013),
- die noch laufenden Untersuchungen der computergestützten lithologischen Charakterisierung von regenerativen Lockergesteinsvorkommen (Schwemmfächer, Schuttkegel, Talfüllungen) in Österreich hinsichtlich ihrer Qualität und Nutzbarkeit als Baurohstoffe (PFLEIDERER et al., 2016),
- die laufend wachsende Datensammlung der sogenannten Steinbruchkartei und des zugehörigen Ordnungsinstrumentes Abbau-Datenbank der FA Rohstoffgeologie der GBA,
- die Daten des Digitalen Atlas Steiermark (AMT DER STEIERMÄRKISCHEN LANDESREGIE-RUNG, 2017),
- der Hydrologische Atlas Österreichs (BMLFUW, 2003, 2005, 2007) sowie
- publizierte und unpublizierte geologische und insbesondere rohstoffgeologische Literatur.

Aufbauend auf der genannten geologischen Literatur und den erwähnten Ergebnissen der Rohstoffforschung erfolgt

- eine Verdichtung der Information zu Mächtigkeit und Qualität der Vorkommen durch Auswertung von Literatur- und Archivangaben, Ergänzung flächiger Informationen, wo diese fehlen,
- ein Abgleich bestehender, divergierender und ergänzender Angaben mit den Partnern in den Bundesländern,
- ein Erfahrungsaustausch und Diskussion mit den Landesgeologen,
- der Einsatz von GIS-Software, relationaler Datenbank-Technologie und Statistik-Werkzeugen sowie Software-Entwicklung für die Harmonisierung der inhomogenen österreichweiten Datenebenen,
- ein "Mapping" (Übersetzung) der Rohstoff-

listen auf INSPIRE mit Hilfe des GBA "Min-Res" Thesaurus (http://www.geologie.ac.at/ services/thesaurus/) und schließlich

• die Darstellung der Ergebnisse mit Internet-Technologie in einem Webservice.

Kooperation und Kommunikation mit Forschung, Landesgeologie und Wirtschaft sind wesentliche Projektbestandteile. Welche begleitenden Informationen zusätzlich zur Beschreibung der Rohstoffstoffbezirke letztlich im Webservice zu sehen sein werden, wird noch zu diskutieren sein. Einfließen werden dabei auch die Anliegen der Rohstoffwirtschaft, die in einer Vortragsrunde durch die Wirtschaftskammern der Bundesländer im Sommer/Herbst 2016 erhoben wurden.

# Erste Ergebnisse

Die Abgrenzung der Kies-Sand-Bezirke ist für die Steiermark (25), für Niederösterreich (106), für Oberösterreich (129) und für Salzburg (43) erfolgt. Die Abgrenzung der Kies-Sand-Bezirke der restlichen Bundesländer ist im Gange und die Fertigstellung bis zum Sommer 2017 zu erwarten. Tabelle 1 zeigt den Stand der Bearbeitung und die Anzahl der bereits digital abgegrenzten Bezirke.

Die Abgrenzung der Hangschutt- und Schwemmfächer-Bezirke und ihre lithologische Kurzcharakteristik ist auf Grund der bisher vorliegenden Ergebnisse des Projektes "Regenerat Österreich" (PFLEIDERER et al., 2016) für den alpinen Bereich Österreichs durchgeführt, allerdings steht die Auswahl rohstoffgeologischer relevanter Bezirke noch aus.

Die Beschreibung der Kies-Sand-Bezirke ist für die Steiermark fertiggestellt, für Niederösterreich weit fortgeschritten. Die Beschreibung der Kies-Sand-Bezirke der restlichen Bundesländer ist im Gange und die Fertigstellung bis Jahresende 2017 zu erwarten. Abbildung 1 zeigt am Vorkommen der Eisrandterrassen-Sedimente im Raum Mariazell ein Beispiel für die geplante Darstellung eines Kies-Sand-Bezirkes im Internet.

Im Zuge der Bearbeitung erfolgte ein aufwändiger Abgleich der Abbaudaten zwischen den Datenbeständen des Universalmuseums Joanneum, der Landesgeologie der Steiermark und der Geologischen Bundesanstalt.

Die Abgrenzung der Ton-Bezirke Steiermark (23 Bezirke) ist im Entwurf fertig.





Kies-Sand-Bezirk Eisrandterrassen Mariaeel ÖK 72 Charstkentilis Von Mariaeell bis Mitterbach am Erlaufsee enstrecken sich ausgedehnte Eisrandterrassen mit einer höchsten Oberfläche um 860m Sh. Diese Sedimentkörper werden von deltageschütteten Kiesen aufgebaut, wobel feine Sandlagen mit Kies- und groben Blocklagen wercheslagern. Die oberflächlich tiefgründige Verwitterung (bis 2m) ist ein wichtiger Hinweis auf das rißzeitliche Alter der Ablagerungen (Geost, 1995). Verwendungshinweise Das Material wird hauptsächlich für die Betonerzeugung und als Schüttmaterial verwendet: Form Terrassien, Staukörper am Eisrand: Mebengestein/Alter Quartär: Riß Besonderheiten Schlufflagen Typische Vorkömmen Mitterbach, Mariazeil, Rasing Ausgewählte und weitseführende Uteratur Berra, A., Untrestwes, T., Taxas, N. & Posciut, M. (1989): Rohstoffsicherung Stelermark Teil 1: Bezirke Bruck/M., Leoben und Ludenburg, Bezirk Weiz, – Bericht Büro Beyer & Joanneum Research, Rohstoffzeol., 50.5. « Teilberichte, Graz. Grotzs, K. (1995): Bericht 1994 Ober geologische Aufnahmen im Quartär der Becken von Mitterbach und Mariazeil auf Batt 72 Mariazeil. – Jahrbuch der Geol, B.-A, 138, Wien. Grotzs, K. (1995): Ericht 1994 Ober geologische Aufnahmen im Quartär der Becken von Mitterbach und Mariazeil auf Blatt 72 Mariazeil. – Jahrbuch der Geol, B.-A, 138, Wien.

Beschreibung der Vorkommen

#### Verbreitung

Mächtigkeit

#### Abb. 1.

Abgrenzung, Darstellung und Beschreibung eines Rohstoffbezirkes am Vorkommen der Eisrandterrassen-Sedimente im Raum Mariazell als Beispiel für die geplante Darstellung eines Kies-Sand-Bezirkes im Internet. Links: Abgrenzung des Kies-Sand-Bezirkes sowie Verbreitung der Eisrand-Sedimente (grün); Mitte: Mächtigkeitsverteilung der Sedimente; Rechts: Beschreibung des Kies-Sand-Bezirkes (Topografie: Basemap).

#### Tab. 1.

Stand der Bearbeitung und Überblick über die weitere Arbeitsplanung.

## Ausblick

Tabelle 1 gibt neben dem Stand der Bearbeitung einen Überblick über die weitere, sehr straffe Arbeitsplanung. Auf Grund von Prioritätsverschiebungen im Arbeitsprogramm der Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter konnte die ursprüngliche Arbeitsplanung für 2017 nicht eingehalten werden. Das Projekt endet antragsmäßig mit Ende 2018, damit sollte das Webservice zumindest im Testlauf funktionsfähig sein.

Modul/Bundesland	В	К	Ν	0	S	St	Т	V	W
Abgrenzung Kies-Sand- Bezirke	bis Som- mer 2017	bis Som- mer 2017	abge- schlos- sen 106 Be- zirke	abge- schlos- sen 129 Be- zirke	abge- schlos- sen 43 Be- zirke	abge- schlos- sen 25 Be- zirke	abge- schlos- sen 72 Be- zirke	abge- schlos- sen 50 Be- zirke	bis Som- mer 2017
Beschreibung Kies-Sand-Bezirke	geplant bis Ende 2017	geplant bis Ende 2017	abge- schlos- sen 106 Be- zirke	geplant bis Ende 2017	geplant bis Ende 2017	abge- schlos- sen 25 Be- zirke	geplant bis Ende 2017	geplant bis Ende 2017	geplant bis Ende 2017
Abgrenzung Schwemm- fächer und Schuttkegel- Bezirke, noch ohne roh- stoffgeologische Auswahl		94	80	76	132	239	217	46	
Auswahl und Beschrei- bung Schwemmfächer und Schuttkegel-Bezirke	bis Ende 2017	bis Ende 2017	bis Ende 2017	bis Ende 2017	bis Ende 2017	bis Ende 2017	bis Ende 2017	bis Ende 2017	bis Ende 2017
Abgrenzung Ton-Bezirke	geplant für erste Hälfte 2018	geplant für erste Hälfte 2018	geplant für erste Hälfte 2018	geplant für erste Hälfte 2018	geplant für erste Hälfte 2018	geplant für erste Hälfte 2018	geplant für erste Hälfte 2018	geplant für erste Hälfte 2018	geplant für erste Hälfte 2018
Beschreibung Ton-Be- zirke	geplant für 2018	geplant für 2018	geplant für 2018	geplant für 2018	geplant für 2018	geplant für 2018	geplant für 2018	geplant für 2018	geplant für 2018
Abgrenzung Festgestein- Bezirke	geplant für 2. Hälfte 2017	geplant für 2. Hälfte 2017	geplant für 2. Hälfte 2017	geplant für 2. Hälfte 2017	geplant für 2. Hälfte 2017	geplant für 2. Hälfte 2017	geplant für 2. Hälfte 2017	geplant für 2. Hälfte 2017	geplant für 2. Hälfte 2017
Beschreibung Festge- stein-Bezirke	geplant für 2018	geplant für 2018	geplant für 2018	geplant für 2018	geplant für 2018	geplant für 2018	geplant für 2018	geplant für 2018	geplant für 2018

# Dank

Dass das Vorhaben realisiert werden kann, ist der Initiative "GBA-Forschungspartnerschaften Mineralrohstoffe" zu verdanken. Allen Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern sei sehr herzlich gedankt! Besonderer Dank gebührt Ingomar Fritz und Steve Paar vom Universalmuseum Joanneum sowie Hermann M. Konrad vom Amt der Steiermärkischen Landesregierung für die exakte Vorbereitung und geduldige Bearbeitung des Abbaudatenabgleiches.

# Literatur

- AMT DER STEIERMÄRKISCHEN LANDESREGIERUNG (2017): http://gis2.stmk.gv.at/atlas/(S(pavebxfhyp22nhxzginseugl))/ init.aspx?karte=adr&ks=das&cms=da (abgerufen am 03.04.2017).
- BMLFUW (Hrsg.) (2003, 2005, 2007): Hydrologischer Atlas Österreichs. – 1., 2. und 3. Lieferung, Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft, ungezählte Seiten, 3 CD, Wien.
- BRANDNER, R. (1980): Geologische Übersichtskarte Tirol 1:300.000. – Tirol-Atlas, 1 Blatt, Innsbruck.
- GEOLOGISCHE BUNDESANSTALT (2017): Geologische Karten der Republik Österreich 1:50.000; Geologische Karten der Republik Österreich 1:50.000; Geologische Karten der Republik Österreich 1:200.000. – Geologische Bundesanstalt, *http://www.geologie.ac.at/produkte-shop/karten/* (abgerufen am 03.04.2017).
- HEINRICH, M. (2012): Festgesteine. In: WEBER, L. (Hrsg.): Der Österreichische Rohstoffplan. – Archiv für Lagerstättenforschung der Geologischen Bundesanstalt, **26**, 146–169, Wien.
- HEINRICH, M., UNTERSWEG, T., LIPIARSKA, I., LIPIARSKI, P., ATZENHOFER, B., HASLINGER, E., KLEIN, P., PFLEIDERER, S., RABEDER, J., REITNER, H., SCHEDL, A., WEILBOLD, J. & WIMMER-FREY, I. (2008): Die Gesteine der burgenländischen Weinbaugebiete. Erdgeschichte und Eigenschaften des Untergrundes der Weinberglagen. – Unveröffentlichter Bericht, Projekt B-C-14/12006-07 im Auftrag der Burgenländischen Landesregierung, 103 S., Wien.
- HEINRICH, M., UNTERSWEG, T. & LIPIARSKI, P. (Red.), GRÖSEL, K., KREUSS, O., LIPIARSKA, I., MOSHAMMER, B., MOSTLER, H., POSCH-TRÖZMÜLLER, G. & RABEDER, J. (2017): Digitale Arbeitskarte zur Verbreitung von Lockergesteinen in Österreich 1:50.000 unter Verwendung publizierter und unpublizierter geologischer Karten. – Unveröffentlichter digitaler Datensatz, VLG-Projekt Bundesweite Vorsorge Lockergesteine, Geologische Bundesanstalt/FA Rohstoffgeologie, Wien.
- KRENMAYR, H.-G. (2013): Stand und Strategie der Geologischen Landesaufnahme in Österreich. – In: GEBHARDT, H. (Red.): Arbeitstagung 2013 der Geologischen Bundesanstalt, Geologie der Kartenblätter 55 Ober-Grafendorf und 56 St. Pölten, 80–85, Wien.
- LETOUZÉ-ZEZULA, G, ATZENHOFER, B., BERKA, R., HEINRICH, M., HELLERSCHMIDT-ALBER, J., LIPIARSKA, I., LIPIARSKI, P., MOSHAM-MER, B., POLTNIG, W., POSCH-TRÖZMÜLLER, G., SCHUSTER, R. & UNTERSWEG, T. (2005): GIS-Generierung einer geologischen Arbeitskarte von Kärnten als Basis weiterführender roh-

stoff- und angewandt-geologischer Bearbeitungen – Digitale geologische Karte Kärnten. – Unveröffentlichter Endbericht, Bund-Bundesländer-Projekt K-C-025/04, Bibliothek GBA/ Wissenschaftliches Archiv, Nr. A 13797-R, 29 S., Wien.

- LIPIARSKI, P., UNTERSWEG, T., LIPIARSKA, I. & HEINRICH, M. (2012): Angewandt-geologische digitale Arbeitskarte Niederösterreich (AngedAN). – Unveröffentlichter Bericht im Auftrag des Amtes der NÖ Landesregierung, Zl. BD-1-G-5146/001-2009, 51 S., Wien.
- MOSHAMMER, B. (2012): Hochwertige Karbonatgesteine und Mergel. – In: WEBER, L. (Hrsg.): Der Österreichische Rohstoffplan. – Archiv für Lagerstättenforschung der Geologischen Bundesanstalt, **26**, 170–191, Wien.
- PFLEIDERER, S., REITNER, H., HEINRICH, M. & UNTERSWEG, T. (2012): Kiessande. – In: WEBER, L. (Hrsg.): Der Österreichische Rohstoffplan. – Archiv für Lagerstättenforschung der Geologischen Bundesanstalt, **26**, 99–145, Wien.
- PFLEIDERER, S., HEINRICH, M., LIPIARSKA, I., RABEDER, J., REITNER, H., TRÄXLER, B., UNTERSWEG, T. & WIMMER-FREY, I. (2016): Regenerat Österreich. Computergestützte lithologische Charakterisierung von regenerativen Lockergesteinsvorkommen (Schwemmfächer, Schuttkegel, Talfüllungen) in Österreich hinsichtlich ihrer Qualität und Nutzbarkeit als Baurohstoffe. – Unveröffentlichter Bericht, VLG-Projekt Ü-LG-065/2015, Bibliothek GBA/Wissenschaftliches Archiv, Nr. A 18846-R, iv + 62 S., Wien.
- REITNER, H. (2014): Digitale kompilierte geologische Karte Oberösterreichs – GK 20, Stand 2010 – Begleittext. – Unveröffentlichter Bericht, Geologische Bundesanstalt, FA Rohstoffgeologie, 15 S., Wien.
- SCHWENDT, A. (1998): Digitale geologische Karte der Steiermark 1:50.000. – Amt der Steiermärkischen Landesregierung, GIS-Steiermark, Graz.
- UNTERSWEG, T., LIPIARSKI, P. & HEINRICH, M. (2008): Die digitale Karte quartärer Sedimentgesteine in Österreich: Ein "Spinoff" rohstoffgeologischer Bearbeitung. – Abhandlungen der Geologischen Bundesanstalt, **62**, 117–122, Wien.
- UNTERSWEG, T., LIPIARSKI, P. & HEINRICH, M. (2013): Verbesserung der rohstoffgeologischen Grundlagen durch Aufarbeitung der im Zuge der Bewertungen für den Österreichischen Rohstoffplan gewonnenen neuen Erkenntnisse mit Schwerpunkt auf den Lockergesteinsvorkommen II: Mächtigkeiten der Sande und Kiessande. – Unveröffentlichter Bericht, VLG-Projekt Ü-LG-060/2011-2012, Bibliothek GBA/Wissenschaftliches Archiv, Nr. A 17932-R, 3 + 53 S., 1 CD, Wien.
- WEBER, L. (Hrsg.) (1997): Metallogenetische Karte von Österreich 1:500.000, Handbuch der Lagerstätten der Erze, Industrieminerale und Energierohstoffe Österreichs. – Archiv für Lagerstättenforschung der Geologischen Bundesanstalt, **19**, 607 S., Wien.
- WEBER, L. (Hrsg.) (2012): Der Österreichische Rohstoffplan. Archiv für Lagerstättenforschung der Geologischen Bundesanstalt, **26**, 263 S., Wien.
- WIMMER-FREY, I. (2012): Tone. In: WEBER, L. (Hrsg.): Der Österreichische Rohstoffplan. – Archiv für Lagerstättenforschung, **26**, 192–201, Wien.

# Automatisierte Ableitung der Rohstoffqualität von Schwemmfächern, Hangschuttkörpern und Talfüllungen in Österreich

Sebastian Pfleiderer (1), Maria Heinrich (1), Irena Lipiarska (1), Julia Rabeder (1), Heinz Reitner (1), Barbara Träxler (1), Thomas Untersweg (1) & Ingeborg Wimmer-Frey (1)

# Einleitung

Schwemmfächer, Schuttkegel und Talfüllungen in alpinen Gebieten sind (geologisch gesehen schnell, d.h. in menschlichen Zeiträumen) nachwachsende Lockergesteine, die bedeutende Kiessand-Lieferanten darstellen und einen wesentlichen Beitrag zur Versorgung mit Baurohstoffen leisten (PFLEIDERER et al., 2012). Allerdings sind nicht alle dieser Lockergesteinsvorkommen gleichermaßen nutzbar. Die Nutzbarkeit hängt von der Qualität des Materials, also von lithologischen Merkmalen wie Korngröße, Kornform, Sortierung, Rundung, Mürbkornanteil und Gesteinszusammensetzung ab. Diese Merkmale wiederum sind stark von der lithologischen Zusammensetzung der Liefergebiete, der Transportweite und der Ablagerungsart (fluviatil oder gravitativ) abhängig.

Im Rahmen des Projektes "Regenerat" wurden GIS-Routinen entwickelt, die morphologische Kennwerte der Einzugsgebiete anhand eines Höhenmodells sowie Flächenanteile der Ausgangsgesteine anhand von geologischen Karten berechnen (PFLEIDERER et al., 2013; REITNER et al., 2014). Sedimenttrends wurden formuliert, um GIS-Ergebnisse in Materialeigenschaften umzusetzen. Diese Umsetzung wurde mithilfe von Daten aus visuellen und automatisierten sedimentpetrografischen Geröllanalysen an Sedimentproben ausgewählter Lockergesteinsvorkommen kalibriert (PFLEIDERER et al., 2016a). Anschließend wurden die GIS-Routinen für Schwemmfächer und Schuttkegel bundesweit angewendet und die abgeleiteten Materialeigenschaften statistisch abgesichert (PFLEIDERER et al., 2016b).

Laufende Arbeiten konzentrieren sich einerseits auf die Charakterisierung von Bach- und Wildbachsedimenten, andererseits auf die Abschätzung von Volumen und Akkumulationsraten von geologischen Sedimentkörpern und von Geschiebematerial in Talsperren. Die Quantifizierung des regenerativen Anteils erfolgt für Talsperren anhand von Daten über Räumungsmassen, für aktive Schwemmfächer durch Mehrfach-Überfliegung mittels Drohnen und anschließender photogrammetrischer Auswertung nach episodisch wiederkehrenden Murgängen.

# Datengrundlage

Als Basisdaten für die geologische Beschreibung der Liefergebiete dienten die von der Geologischen Bundesanstalt (GBA) publizierten Geologischen Karten 1:50.000, in zweiter Linie die Karten aus dem Datenbestand "Geofast" (PAVLIK et al., 2015). In den davon nicht abgedeckten Regionen wurden andere digital verfügbare geologische Datengrundlagen verwendet (Kärnten: LETOUZÉ-ZEZULA et al., 2005; Niederösterreich: LIPIARSKI et al., 2012; Oberösterreich: LETOUZÉ-ZEZULA et al., 1999/2000; Salzburg: PESTAL et al., 2005; Steiermark: SCHWENDT, 1998; Vorarlberg: PESTAL et al., 2007). Liefergebiete wurden für Sedimentkörper berechnet, die dem digitalen Geodatensatz der "Digitale(n) Arbeitskarte zur Verbreitung von Lockergesteinen in Österreich" (HEINRICH et al., 2014) entnommen wurden. Die GIS-Berechnungen der Liefergebietsmorphologie stützten sich auf ein öffentlich zugängliches Höhenmodell (https://www.data.gv.at) mit einer Auflösung von 10 x 10 m. Aus einer Geschiebebewirtschaftungsstudie lagen außerdem die Gesteinszusammensetzungen von Sedimentproben aus 210 Talsperren vor (Bertle, 2000).

# Methodik

Die GIS-Routinen grenzen ausgehend von einem Kiessandvorkommen (Abbaupunkt oder Fläche eines Sedimentkörpers) das morphologische Einzugsgebiet anhand des digitalen Höhenmodells ab, berechnen die Flächenanteile der darin vorkommenden geologischen Einheiten und liefern morphologische Parameter wie Höhendifferenz, Transportweite und Geländeneigung (Abb. 1).



Die Sedimentproben wurden hinsichtlich ihrer Korngrößenverteilung, ihrer lithologischen Zusammensetzung und ihrer korngeometrischen Parameter untersucht. Für die Bestimmung der Korngrößenverteilung wurden die Proben bei 105° C getrocknet und mit Sieben der Maschenweiten 63 mm, 32 mm, 16 mm, 8 mm, 4 mm und 2 mm trocken gesiebt. Die Fraktion < 2 mm wurde mit Sieben der Maschenweiten 1 mm, 500  $\mu$ m, 250  $\mu$ m, 125  $\mu$ m, 63  $\mu$ m und 32  $\mu$ m nass gesiebt. Falls der Anteil der Korngrößen < 32  $\mu$ m einer Probe mehr als 10 Masseprozent betrug, wurde diese Kornfraktion im Sedigraph mittels Röntgenstrahlung nach dem Stoke'schen Gesetz analysiert.

#### Abb. 1.

Berechnung des Liefergebietes eines Kiesvorkommens mithilfe des Höhenmodells (oben links), Verschnitt des Liefergebietes mit der geologischen Karte (oben rechts) sowie mithilfe der GIS-Routinen abgeleitete, morphologische und lithologische Parameter des Liefergebietes (unten) (nach PFLEIDERER et al., 2016a).

Für die Gesteinsbestimmung der im Sediment vorkommenden Gerölle wurden visuelle Geröllanalysen durchgeführt. Dazu lagen Referenzproben der wichtigsten im Liefergebiet vorkommenden Festgesteinstypen vor, die im Zuge der Sediment-Probennahme genommen wurden. Die Bestimmung erfolgte spezifisch für die verschiedenen Korngrößenfraktionen. Bei Fraktionen mit einer Komponentenanzahl von deutlich über 100 Einzelkörnern wurde die Auszählung an mindestens 100 repräsentativ entnommenen Einzelkörnern vorgenommen.

Korngeometrische Parameter wurden automatisch mithilfe eines Petroscope 4D<sup>®</sup> ermittelt. Dieses Gerät analysiert jedes einzelne Geröll per Laserstrahl und optischer Kameras und berechnet die Längen der drei Hauptachsen, Kornvolumen, Kornform und Rundungsgrad. Aufgrund der Kameraauflösung können nur Gerölle einer Größe > 8 mm analysiert werden.

# Ergebnisse

Insgesamt wurden bisher 17.660 Lockergesteinsvorkommen, davon 15.259 Schwemmfächer und 2.401 Talfüllungen, mittels GIS-Routinen bearbeitet. Für die Liefergebiete dieser Vorkommen liegen morphologische Parameter (Fläche, Höhendifferenz, Steilheit, Transportweite) und geologische Informationen (Gesteinstypen und deren prozentuale Flächenanteile) vor. Bezüglich der Materialeigenschaften von Lockergesteinen wurden Geröllanalysen an 59 Proben und 26.444 Geröllen (lithologische Zusammensetzung, Korngrößenverteilung, Korngeometrie) aus den tektonischen Großeinheiten Österreichs durchgeführt.

Für die Ableitung von Vorhersagen der Materialeigenschaften der Lockersedimente hinsichtlich ihres lithologischen Spektrums, Feinkornanteils, ihrer Sortierung, ihrem Rundungsgrad und ihrer Kornform wurden die im GIS abgeleiteten Daten mit den Ergebnissen der Geröllanalysen in Beziehung gesetzt.

Hinsichtlich der **lithologischen Zusammen**setzung ergibt sich, dass die Flächenanteile der Festgesteine im Liefergebiet ungefähr dem Litho-Spektrum im Sediment entsprechen, obwohl unterschiedliche Verwitterungsbeständigkeit, Transportweite und -art die Zusammensetzung beeinflussen. Abbildung 2 vergleicht die Flächenanteile der Gesteinsarten in einem Liefergebiet mit den lithologischen Geröllanteilen in der Sedimentprobe. Die Abweichungen der Prozentanteile betragen in diesem Beispiel im Mittel 3 %.

Die Medianwerte der Abweichungen betragen für alle Gesteinsarten über sämtliche 59 Proben hinweg insgesamt 4 %, bei Schiefern und Gneisen bis zu 10 %. Die Auswertung der Daten der Geschiebebewirtschaftungsstudie (BERTLE, 2000) ergibt eine etwas geringere, aber immer noch gute Übereinstimmung. Die Medianwerte der Abweichungen betragen je nach Gesteinsart 1–6 %, bei Gneisen bis zu 16 %. Dies belegt, dass bei einer geeigneten Gruppierung der zahlreichen kartierten und im Labor bestimmten Gesteinsarten nach rohstoffgeologisch relevanten Kriterien (Genese, Mineralbestand, Verwitterbarkeit) eine Vorhersage für das zu erwartende Litho-Spektrum im Sediment mit einer Genauigkeit von 80–95 % im Mittel erwartet werden kann.

Flächenanteil im Einzugsgebiet



Hinsichtlich der **Korngrößenverteilung** lassen sich allein anhand der Transportart (fluviatil oder gravitativ) keine eindeutigen Trends erkennen. Sowohl bei Talfüllungen als auch bei Schwemmfächern ergeben sich Streuungen des Feinkornanteils (Kornfraktion < 0,2 mm) zwischen 2 % und 32 %. Dies mag darin begründet sein, dass Schwemmfächer ein Mischprodukt aus fluviatil und gravitativ transportiertem Material darstellen. Eine Auswertung des Einflusses von Lithologie und Transportweite auf den Feinkornanteil steht bisher noch aus.

Als Maß der **Sortierung** zeigen Berechnungen der Ungleichförmigkeitszahl (U =  $d_{60}/d_{10}$ ), dass Proben aus Schwemmfächern generell (d.h. ohne Berücksichtigung von Ausreißern und Extremwerten) schlechter sortiert sind (U: 400–1.300), als Proben aus Talfüllungen (U: 170–520) (Abb. 3). Trenduntersuchungen zeigen außerdem, dass die Sortierung mit zunehmender Transportweite zunimmt. Während Proben aus Schwemmfächern bei geringen Transportdistanzen (2–3 km) extrem schlecht sortiert sind (U = 500), nimmt die Sortierung bei größeren Transportweiten (10–15 km) rapide zu (U = 200). Proben aus Talfüllungen sind bei geringen Transportdistanzen weniger schlecht



sortiert (U = 200), hier ist die Zunahme der Sortierung mit zunehmender Transportdistanz weniger stark ausgeprägt (U = 50 bei 15 km Transportdistanz).

Der Rundungsgrad, der visuell lediglich in Klassen unterschieden werden kann (sehr eckig, eckig, subangular, subgerundet, gerundet, gut gerundet; POWERS, 1953), wird durch den Einsatz des Petroscope 4D<sup>®</sup> zahlenmäßig erfasst. Dadurch werden quantitative Vergleiche möglich. Die Ergebnisse belegen, dass der Rundungsgrad hauptsächlich durch die Gesteinsart und weniger durch die Transportart oder die Transportdistanz bestimmt ist. Dies trifft zumindest auf die untersuchten Lockergesteinsvorkommen zu, die durchweg kurze Transportdistanzen (≤ 16 km) aufweisen. Gerölle aus Quarzit, Granit, Orthogneis und Quarzsandstein sind durchschnittlich eckiger ausgebildet als Gerölle aus Kalkstein, Dolomit, Marmor oder Kalksandstein. Kantengerundet sind am häufigsten Gerölle aus Mergel, Tonstein, Glimmerschiefer und Paragneis. Vor allem bei größeren Kornfraktionen (> 16 mm) lässt sich außerdem eine Zunahme der Rundung der Komponenten mit zunehmender Transportdistanz beobachten.



Abb. 4. Kornformen von Geröllen unterschiedlicher Gesteinsarten.

Vergleich der

Ungleichförmigkeitszahlen für Proben aus

Schwemmfächern/ Schwemmkegeln (n = 35) und aus

Talfüllungen (n = 21).

Auch die **Kornform** wird traditionell in Klassen eingeteilt (diskförmig, würfelig, plattig, stängelig; ZINGG, 1935), während die mittels Petroscope abgeleiteten Längen der drei Hauptachsen jedes einzelnen Gerölls eine quantitative Bestimmung erlauben. Wie beim Rundungsgrad ist die Gesteinsart für die Kornform der Gerölle ausschlaggebend. Abbildung 4 zeigt eine Differenzierung der Kornformen je nach Gesteinsart, die mit der herkömmlichen Klasseneinteilung nicht möglich wäre.

Die Erkenntnis, dass Gerölle aus weichen Gesteinsarten eher gerundet sind, Glimmerschiefer und Paragneise eher zur Ausbildung plattig/ diskförmiger Gerölle neigen oder Sortierung und Rundungsgrad mit der Transportweite zunehmen, ist nicht überraschend und stellt keinen neuen Informationsgewinn dar. Der Wert der hier vorgestellten Ergebnisse liegt vielmehr darin, dass diese Zusammenhänge durch den Einsatz des Petroscopes 4D<sup>®</sup> erstmals quantifiziert werden und eine Berechnung von Trends zur Vorhersage von Materialeigenschaften und dadurch auch die Abschätzung der rohstoffgeologischen Nutzbarkeit von Lockergesteinen ermöglichen.

## Literatur

- BERTLE, H. (2000): Geschiebebewirtschaftungskonzept für die Räumung der Geschiebesperren der Wildbach- und Lawinenverbauung sowie der Bundeswasserbauverwaltung. – Studie im Auftrag des Amtes der Vorarlberger Landesregierung, Abteilung VIId Wasserwirtschaftliches Planungsorgan, Schruns.
- HEINRICH, M., UNTERSWEG, T., LIPIARSKI, P., GRÖSEL, K., KREUSS, O., LIPIARSKA, I., MOSHAMMER, B., MOSTLER, H., POSCH-TRÖZMÜLLER, G. & RABEDER, J. (2014): Digitale Arbeitskarte zur Verbreitung von Lockergesteinen in Österreich 1:50.000 unter Verwendung publizierter und unpublizierter geologischer Karten. – Projekt Bundesweite Vorsorge Lockergesteine, Geologische Bundesanstalt, Wien.
- LETOUZÉ-ZEZULA, G., KOÇIU, A., LIPIARSKI, P., PFLEIDERER, S. & REITNER, H. (1999/2000): Massenrohstoffsicherung OÖ und Beiträge zur Baurohstoff-Vorsorge in OÖ. Endbericht, Projekte O-C-010/95 und O-C-010a/1997, 87 S., Geologische Bundesanstalt, Wien.
- LETOUZÉ-ZEZULA, G., ATZENHOFER, B., BERKA, R., HEINRICH, M., HELLERSCHMIDT-ALBER, J., LIPIARSKA, I., LIPIARSKI, P., MOSHAMMER, B., POLTNIG, W., POSCH-TRÖZMÜLLER, G., SCHUSTER, R. & UNTERSWEG, T. (2005): GIS-Generierung einer geologischen Arbeitskarte von Kärnten als Basis weiterführender rohstoff- und angewandt-geologischer Bearbeitungen – Digitale geologische Karte Kärnten. – Endbericht, Projekt K-C-025/04, 29 S., Geologische Bundesanstalt, Wien.

- LIPIARSKI, P., UNTERSWEG, T., LIPIARSKA, I. & HEINRICH, M. (2012): Angewandt-geologische digitale Arbeitskarte Niederösterreich (AngedAN). – Bericht, Projekt AngedAN, 51 S., Geologische Bundesanstalt, Wien.
- PAVLIK, W., KREUSS, O., MOSER, M., BAYER, I. & KRENMAYR, H.G. (2015): Geofast – Zusammenstellung ausgewählter Archivunterlagen der Geologischen Bundesanstalt 1:50.000, Bearbeitungsstand 2015, Geologische Bundesanstalt, Wien.
- PESTAL, G., HEJL, E., EGGER, H., VAN HUSEN, D., LINNER, M., MANDL, G.W., REITNER, J., RUPP, C. & SCHUSTER, R. (2005): Geologische Karte von Salzburg 1:200.000. – Geologische Bundesanstalt, Wien.
- PESTAL, G., OBERHAUSER, R., BERTLE, H. & BERTLE, R. (2007): Geologische Karte von Vorarlberg 1:100.000. – Geologische Bundesanstalt, Wien.
- PFLEIDERER, S., REITNER, H., HEINRICH, M. & UNTERSWEG, T. (2012): Kiessande. – In: WEBER, L. (Hrsg.): Der Österreichische Rohstoffplan. – Archiv für Lagerstättenforschung der Geologischen Bundesanstalt, **26**, 99–145, Wien.
- PFLEIDERER, S., HEINRICH, M., RABEDER, J., REITNER, H. & UNTERSWEG, T. (2013): Automated evaluation of renewable aggregate resources. In: JONSSON, E. (Ed.): Mineral Deposit Research for a High-Tech World. Proceedings of the 12<sup>th</sup> Biennial SGA Meeting, Society for Geology Applied to Mineral Deposits, **4**, 1822–1824, Uppsala.
- PFLEIDERER, S., HEINRICH, M., RABEDER, J., REITNER, H., UNTERSWEG, T. & WIMMER-FREY, I. (2016a): Application of a new method for rapid quality assessment of renewable aggregate resources in alpine regions. – Geological Society of London, Special Publications, 416, 71–78, London.
- PFLEIDERER, S., HEINRICH, M., LIPIARSKA, I., RABEDER, J., REITNER, H., TRÄXLER, B., UNTERSWEG, T. & WIMMER-FREY, I. (2016b): Computergestützte lithologische Charakterisierung von regenerativen Lockergesteinsvorkommen (Schwemmfächer, Schuttkegel, Talfüllungen) in Österreich hinsichtlich ihrer Qualität und Nutzbarkeit als Baurohstoffe. – Endbericht, Projekt ÜLG-065/2013-2015, 62 S., Geologische Bundesanstalt, Wien.
- POWERS, M.C. (1953): A new roundness scale for sedimentary particles. Journal of Sedimentary Petrology, **23**/2, 117–119, Tulsa.
- REITNER, H., PFLEIDERER, S., HEINRICH, M., LIPIARSKA, I., LIPIARSKI, P., RABEDER, J., UNTERSWEG, T. & WIMMER-FREY, I. (2014): Geoprocessing tool Regenerat: Characterization of mineral resource quality of renewable sediment deposits. – In: PARDO-IGUZQUIZA, E., GUARDIOLA-ALBERT, C., HEREDIA, J., MORENOMERINO, L., DURAN, J.J. & VARGAS-GUZMAN, J.A. (Eds.): Mathematics of Planet Earth. – Proceedings of the 15<sup>th</sup> Annual Conference of the International Association for Mathematical Geosciences. – Lecture Notes in Earth System Sciences, XXXVI, 315–318, Heidelberg.
- SCHWENDT, A. (1998): Die digitale geologische Karte der Steiermark. – Mitteilungen des Referats für Geologie und Paläontologie am Landesmuseum Joanneum, Sonderheft 2, 325–328, Graz.
- ZINGG, T. (1935): Beiträge zur Schotteranalyse. Schweizerische Mineralogische und Petrographische Mitteilungen, **15**, 39–140, Zürich.

# Die Salinen Austria AG und die Geologie ihrer Salzlagerstätten im Salzkammergut

# Österreichische Salinen AG Konzern

Die Salinen Austria AG gehört zu den führenden Salzherstellern Europas. Seit der Privatisierung im Jahr 1997 wurden mehr als 240 Mio. € in Modernisierung und Kapazitätserweiterung der Produktionsanlagen investiert. Aktuell können jährlich ca. 1,2 Mio. Tonnen Siedesalz produziert werden, davon ca. 550.000 Tonnen verpackte Ware, der Rest in loser Form. Das Produktportfolio umfasst rund 300 Siedesalzprodukte, 100 Natursalzprodukte sowie ergänzend einige Meersalzprodukte. Höchste Kompetenz im Salzbereich, außerordentliche Leistungsfähigkeit, Flexibilität und Serviceorientierung sind ein Garant, als verlässlicher Partner für unsere Kunden zu gelten. Dies ermöglicht auch auf die Anforderungen des Marktes kurzfristig zu reagieren und die Wünsche unserer Kunden zu erfüllen.

Die tägliche Produktion umfasst mittlerweile mehr als 3.000 Tonnen Siedesalz, welche umweltfreundlich per Bahn, Schiff oder LKW "just in time" zu den Kunden geliefert werden. Dies wird durch eine vollautomatisierte Produktion von der Soleaufbereitung bis zur Auslagerung aus unserem Hochregallager sichergestellt. THOMAS LEITNER (1) & MICHAEL MAYR (1)

Durch eine laufende Prozess- und Qualitätskontrolle wird die hohe Qualität der Produkte gewährleistet. Hocheffiziente Logistikprozesse stellen kürzeste Lieferzeiten, optimierte Losgrößen und zeitgerechte Anlieferung sicher.

Die Salzwelten GmbH fungiert als Betreiber der touristischen Einrichtungen der Unternehmensgruppe. Es sind dies die drei Salzwelten Hallein, Hallstatt inklusive Salzbergbahn und Altaussee sowie der Vertrieb von sich auf Salz beziehenden Souvenirs. Die Salinen Immobilien GmbH betreut und verwertet jene Immobilien der "Salinen Austria"-Gruppe, welche nicht unmittelbar der Salz-/Sole-Produktion dienen. Dabei sieht die Geschäftspolitik neben der Erhaltung der Vermögensgegenstände im Immobilienbereich auch eine Schaffung von neuem Liegenschaftsvermögen vor. Die Österreichische Salinen AG (ÖSAG) stellt sich mit ihren Beteiligungsgesellschaften wie folgt dar (Abb. 1):

Abb. 1. Übersicht über die Beteiligungsgesellschaften der Österreichischen Salinen AG.



(1) Salinen Austria AG, 8992 Altaussee 139. thomas.leitner@salinen.com

# Produktion

Die Salzproduktion erfolgt durch die Laugung (Lösung in Wasser) des Steinsalzes aus dem Haselgebirge in sogenannten Bohrlochsonden. Die Sole (ca. 300 g/l Salz) wird dann über Leitungen nach Ebensee transportiert und dort in der Saline verarbeitet. Bei einer Bohrlochsonde wird Wasser durch eine Bohrung in das Gebirge eingebracht. Dadurch wird das Steinsalz gelöst. Es wird ein Hohlraum erzeugt, der abhängig vom Salzgehalt zu Teilen wieder mit den aufgelockerten unlöslichen Rückständen verfüllt wird. Diese Rückstände werden vom Bergmann als "Laist" bezeichnet und füllen bei einem Salzgehalt unter ca. 40 % den entstehenden Hohlraum komplett aus.

Ein Sperrmedium an der Oberseite der Kaverne verhindert ein unkontrolliertes Laugen. Als Sperrmittel wird zumeist Luft verwendet. Diese gibt nur den zu verlaugenden Bereich der Kavernen zur Lösung frei. Dadurch wird ein größerer Bereich der Seiten verlaugt und die Kavernenentwicklung kann gesteuert werden. Die durch Lösung entstandene Sole sinkt durch die höhere Dichte nach unten und wird durch ein tiefes Rohr abgezogen.

Die Sole wird anschließend über Leitungen nach Ebensee transportiert und wird dort gereinigt. Hierbei werden die gelösten Nebensalze wie Calcium, Magnesium und Sulfat ausgefällt. Die Verdampfung des Wassers aus der Sole geschieht durch eine Thermokompressionsanlage. Es wird Wasserdampf durch einen Kompressor verdichtet und zur Beheizung des Kristallisators eingesetzt. Der entstehende Salzbrei wird abgezogen und das Salz mittels Zentrifugen von der Restsole getrennt und anschließend getrocknet.

# **Geologie des Haselgebirges**

Das Haselgebirge, welches die Lagerstätten aufbaut, liegt in den tiefjuvavischen Hallstätter Schollen. Die Basis der Hallstätter Schollen bildet das Tirolikum (Abb. 2) und wird durch die hochjuvavische Dachstein-Decke überlagert (TOLLMANN, 1985).

# Wichtigste Mineralien des Haselgebirges

Das Haselgebirge kann im Allgemeinen als eine Brekzie beschrieben werden. Die Bruchstücke aus vorwiegend Tonsteinen, Anhydrit und Polyhalit sind durch eine feinkörnige Salzmatrix verkittet.

Abb. 2.

Tektonische Skizze mit den Lagerstätten der Salinen Austria AG nach TOLLMANN (1976), SCHÄFFER (1982) und MANDL (1982), verändert nach MAYR (1998).



Nachfolgend werden die wichtigsten Komponenten beschrieben (nach SCHAUBERGER, 1986).

 Steinsalz (Halit): Es kann nach Bildungsart bzw. Bildungszeit in primäres und sekundäres Salz unterschieden werden. Das primäre Salz ist feinkristallin bis körnig und weist zumeist tonige, anhydritische und alkalisulfatische Zwischenlagen auf. Die wichtigsten primär geschichteten Steinsalze sind die Liniensalze des Grüntongebirges (weiß bis hellgrau) und die Bändersalze des Rotsalzgebirges (rötlich bis graubraun).

Als sekundäre Mineralisationen sind das Tonwürfelsalz, das Blättersalz, das Fasersalz und das grobkristalline Kluftsalz anzuführen. Diese Salze bilden sich durch Rekristallisierungen des im Ton mitsedimentierten Salzes oder durch Rekristallisationen aus den Salzlösungen in Rissen und Klüften (GÖRGEY, 1912). Das aus dem in Wechsellagerung mit Salzen abgelagerten Tonschlamm stammende Salzwasser kristallisiert während der Verfestigung zum Schieferton zu Blättersalz und zu Tonwürfel-Holoblasten. Im Zuge des Aufstieges kristallisieren in Zerrrissen Kluftsalze bzw. Fasersalze. Unterscheiden lässt sich das primäre vom sekundären Salz durch die Fluoreszenz sowie durch die unterschiedlichen Gehalte von Kalium und Strontium. Sekundäres Salz zeigt einen größeren Gehalt an Kalium, enthält jedoch wesentlich weniger Strontium (REINOLD, 1965).

• **Anhydrit:** Anhydrit ist das nach dem Steinsalz am weitesten verbreitete Mineral der Alpinen Salzlagerstätten.

Der "primäre" Anhydrit wurde großteils diagenetisch aus abgelagertem Gips gebildet, was durch den Strontiumgehalt angedeutet wird (RUSCHA, 1976). Er tritt in zwei vorherrschenden Ausbildungen auf; die erste bildet dunkelgraue, feinkristalline, massige bis schichtige Aggregate und ist ein charakteristischer Bestandteil des Rotsalzgebirges. Die zweite Ausbildungsform ist eine Mischung mit Dolomit und kann bis zu 2,5 % Bitumen (Stinkdolomit, Stinkanhydrit) enthalten. Diese Form des Anhydrits ist ein charakteristischer Bestandteil des Grausalzgebirges. Der "sekundäre" Anhydrit wird, um den Unterschied zu unterstreichen, mit dem alten Namen "Murazit" angesprochen. Hierbei handelt es sich um einen rekristallisierten Anhydrit, der tafelige, faserige bis strahlige Aggregate bildet. Murazit stellt ein Produkt des hydrothermalen Lösungsumsatzes dar und ist somit auch an den meisten Mineralparagenesen beteiligt. Untergeordnet treten auch Metasomatosen des Anhydrits nach Polyhalit und Glauberit auf.

- **Gips:** Gips entsteht durch die Hydratisierung des Anhydrits, also nur, wo Wasser im Kontakt zur Lagerstätte steht. Diese Bedingungen finden sich in der Hutzone des Salzstockes, dem "Ausgelaugten", und der Grenzzone zum Nebengebirge, dem "Grenzgebirge". Die im Grenzgebirge gebildeten Fasergipse werden im Bergmännischen "Finanzer" genannt, da sie das Ende der Lagerstätte anzeigen.
- **Der Salzton:** Bei Salztonen handelt es sich um die häufigsten klastischen Komponenten im Haselgebirge. Die Bezeichnung Salzton ist historisch gewachsen, die Korngrößen liegen jedoch häufig auch über 63 mm. Aus der Textur der Salztone lassen sich eingeschwemmte (ohne NaCl) von schlammtrüben (wenig NaCl) Tonablagerungen unterscheiden. Farblich lassen sich die wichtigsten Salztone unterteilen:

Der Schwarze Salzton zeigt grubenfeucht eine schwarze, am Tageslicht eine leicht ausbleichende Färbung. Er tritt häufig grob oder mit Anhydrit gebändert auf. Der Grüne Salzton zeigt grubenfeucht grünlichgraue Färbung mit charakteristisch rostgelben Anflügen. Er tritt ungeschichtet auf und hat einen muscheligen bis splittrigen Bruch. Häufig ist er mit Tonwürfelsalzen durchwachsen. Der Rote Salzton hat eine rotbraune bis violettbraune Färbung, ansonsten dem grünen oder schwarzen Ton ähnlich. Der Graue Salzton zeigt eine hellgraue Färbung, eine geringe Härte und fühlt sich seifig an.

Die Quarz- und Glimmer führenden Pelite wurden röntgenografisch untersucht. An Tonmineralen wurden Illit, Chlorit und Mixed-Layer Phasen (Illit/Smektit etc.) identifiziert (GLÜCK, 1975).

In tektonischen Bewegungszonen und am Kontakt mit harten Gesteinen werden die Salztone zu Glanzschiefer verpresst.

# Bildung der Lagerstätte

Die Bildung der Lagerstätten erfolgte gemäß SCHAUBERGER (1955, 1957, 1986) in Lagunen mit vier unterschiedlichen Faziesbereichen, welche nachstehend kurz skizziert werden.

- Rotsalzgebirge: Die Sedimentation erfolgte in ruhigen, tief eingesenkten Wannen eines Flachsees. Es besteht nur eine indirekte Verbindung mit dem offenen Ozean. Salzaugen zeigen einen zeitweise höheren Eindampfungsgrad, der jedoch durch Süßwasserzuflüsse aus dem Hinterland bisweilen rückgängig gemacht wird (SCHAUBERGER & KÜHN, 1959). Mitgeführter Schlamm wird unter sauerstoffarmen Verhältnissen als schwarzer und unter oxidierenden Verhältnissen als roter Ton sedimentiert. Kommt es zu zusätzlichen Zufuhren von kalkreichen, sulfatischen Lösungen entsteht vermehrt Anhydrit.
- **Grüntongebirge:** Sedimentiert wurde in einem küstennäheren Bereich eines Flachmeeres, welches vom offenen Ozean durch eine breite Schwelle getrennt und von fluviatil gebildeten Tonschichten umgeben ist. Durch periodisch einbrechendes Meerwasser wurden die litoralen Tonschichten zerstört und mit dem auskristallisierenden Salz sedimentiert. Das Calciumsulfat kam dabei bereits bei der Schwelle zum Auskristallisieren. Durch Süßwasserzuflüsse mit starker Schlammführung kommt es zur Bildung von kompakten Tonzwischenschichten.
- Bunttongebirge: Das Bunttongebirge sedimentiert in die bereits mit Rotsalz- und Grüntongebirge aufgefüllte und gegen den offenen Ozean abgeriegelte Lagune. Es dringt neuerlich Meerwasser ein, was zu neuerlichen Auflösungen und zur Bildung von Resedimenten über den älteren Salinar führt. Es zeigen sich synsedimentäre Einschaltungen von melaphyrischen Deckenergüssen und Tuffithorizonten.
- **Grausalzgebirge:** Dieses Gebirge wird unter reduzierenden Bedingung als salinare Randoder Schwellenfazies abgelagert. Ein Beispiel für die Abfolge von ruhiger Sedimentation und starker Turbulenz dieses Faziesbereiches bildet die Wechsellagerung des Anhydrithaselgebirges.

**Zeitliche Abfolge:** Die Bildung erfolgte zeitlich in zwei Phasen. Die erste Phase lässt sich in das Oberperm bis in die unterste Trias (Induium bzw. "Unterskyth") eingliedern. Laut den S-Isotopieanalysen von PAK (1981) ist das Rotsalzgebirge eindeutig dem Oberperm zuzuordnen. Das Grüntongebirge weist hier eine größere Schwankung auf, was auf eine spätere oder längere Sedimentation hindeutet.

Eine zweite Bildungsphase beginnt in der oberen Untertrias (Olenekium bzw. "Oberskyth") und verläuft bis in das frühe Anisium. Hier bilden sich die Salze des Bunten Salztongebirges und des Grausalzgebirges. Die Schwefelisotopie des Grausalzes zeigt Übereinstimmungen mit anderen Salinarereignissen des "Oberskyth" (РАК, 1981).

Diese Abfolge zeigen auch die Sporenanalysen von KLAUS (1953, 1965). Die Anzahl der gefundenen Sporen ist in Tabelle 1 aufgelistet.

Die Tone des Rotsalzes zeigen Sporen aus dem Oberperm. In den Bunten Salztonen finden sich ähnliche Sporen wie im Rotsalzgebirge, in der Salzmatrix jedoch Sporen, die der Trias zuzuordnen sind. In den Salzen des stinkdolomitischen/ anhydritischen Grausalzes finden sich ebenso triassische Sporen.

Gebirge	Gehalt an Sporen
Steinsalz	bis 500 Stk / m <sup>3</sup>
Schwärzlichgrüner Ton	über 5.000 Stk / $m^3$
Schwarzer Ton	über 10.000 Stk / m <sup>3</sup>
roter Ton	keine

Tab. 1.

Gehalt an vorwiegend geflügelten Sporen nach KLAUS (1953).

## Salzgesteinstypen

Am Aufbau der alpinen Salzlagerstätten sind folgende Gesteinstypen beteiligt (SCHAUBERGER, 1986):

- Steinsalz (bergmännisch: Kernsalz) weist einen Salzgehalt von mindestens 90 % auf und zeigt immer eine Bänderung durch Zwischenmittel von Ton oder Anhydrit.
- Das Kerngebirge besitzt einen Salzgehalt zwischen 70 und 90 %. Die schichtungslosen feinkristallinen Salzmassen sind rötlich

oder grau gefärbt und stehen nicht selten in Wechsellagerung mit gebändertem Kernsalz. Durchsetzt wird das Kerngebirge mit nuss- bis kopfgroßen Knauern von Salzton, Anhydrit und Anhydritpolyhalit.

- Das Haselgebirge im engeren Sinn ist eine Brekzie aus einer feinkörnigen Salzmatrix mit Einschlüssen aus erbsen- bis faustgroßen, kantigen bis schwach gerundeten Komponenten. Letztere bestehen vorwiegend aus Salzton, Anhydrit/Murazit, Anhydritpolyhalit und Sandstein. Der Salzgehalt variiert von 10–70 %. Durch die Salztonfärbung und das Fehlen von bestimmten Komponenten können unterschiedliche Haselgebirgsarten unterschieden werden: Schwarzes-, Grünes-, Graues- und Buntes Haselgebirge.
- Das **Blättersalzgebirge** charakterisiert sich durch mehrere Kubikmeter große Schichtfragmente des Salztones, welche auf den Ablöseflächen papierdünne Überzüge von Steinsalz tragen. Der Salzgehalt schwankt von 10 bis 35 %.
- Das **anhydritische Tontrümmergebirge** tritt in Form metermächtiger Wechsellagerungen von Anhydritbänken mit Schwarzen Tonen oder Dolomiten auf. Es ist an der Südgrenze des Altausseer Salzstocks zu finden. Der Salzgehalt liegt unter 10 %.

Eine Auflistung der wichtigsten Merkmale der einzelnen Salzgebirgsarten findet sich in Tabelle 2.

# Tab. 2.

Hauptmerkmale der Salzgebirgsarten nach SCHAUBERGER (1986).

# Die Standorte und Ihre Lagerstätten

**Hallstatt:** Der Abbau am Hallstätter Salzberg geht von ca. 1200 v. Chr. bis heute. Die Lagerstätte liegt westlich von Hallstatt, hat in E–W-Richtung eine Länge von mindestens 2.600 m und in N–S-Richtung eine Breite von ca. 600 m. Der Höchste noch offene Stollen (hoher Wasserstollen) liegt auf 1.212 m, der tiefste Stollen (Erbstollen) liegt auf 512 m Seehöhe (m. ü. A). Der tiefste erschlossene Punkt (Bohrung B-HTNU-260) liegt auf 353 m Seehöhe. Die Gebirgsarten sind vorwiegend Buntes Salzgebirge, Rotsalzgebirge sowie untergeordnet Grüntongebirge und Grausalzgebirge. Der durchschnittliche Salzgehalt liegt bei ca. 55 %.

**Altaussee:** Der Abbau am Altausseer Salzberg begann ca. 800 n. Chr. und geht bis heute. Die Lagerstätte liegt westlich von Altaussee. Die mittlere N–W-Länge liegt bei 1.450 m mit einer mittleren N–S-Breite von 800 m. Der höchste Stollen liegt auf 1.150 m (Wasseraufschlag hinter dem Roten Kogel), der tiefste Stollen (Erbstollen) liegt auf 738 m. Der tiefste erschlossene Punkt liegt bei ca. -80 m (B-AAHA 055). Vorwiegende Gebirgsarten sind Rotsalzgebirge mit Übergängen in das Grüntongebirge und untergeordnet Grausalzgebirge. Altaussee ist die reichste der alpinen Salzlagerstätten mit einem durchschnittlichen Salzgehalt von ca. 65 %.

**Bad Ischl:** Der Abbau am Ischler Salzberg begann ca. 1563 n. Chr. Im Jahr 2011 wurde der Betrieb eingestellt. Die Neuaufnahme der Produktion wird zurzeit geprüft. Der höchste Horizont liegt auf 1.003 m (Johannes Horizont) der tiefste Horizont auf 503 m (Erbstollen). Die mittlere Erstreckung in E–W-Richtung beträgt ca. 1.100 m, jene

	Rotsalzgebirge	Grüntongebirge	Bunttongebirge	Grausalzgebirge
Arten des Steinsalzanteiles	Rötliches Bändersalz, rötlich graue Salzmatrix	Weißes Liniensalz, weiße Salzmatrix	honigbraune Salzmatrix	Grau/weißes Kernsalz
Begleitsalze	Anhydrit, Polyhalit, Glauberit, Na/Mg-Sulfate	Murazit, selten K/Mg/Na-Sulfate		Kieselanhydrit, Dolomitanhydrit
Klastische Bestandteile	Schwarzer und roter Salzton, graubrauner Sandstein	Grüner Salzton, graugrüner Salzsandstein	Schwarzer, grüner, grauer und bunter Salzton (Salzsandstein)	Grauer Salzton
Semi- und nichtsalinare Begleitminerale	Melmikowit, Pyrit, Talk	selten Fe- und Cu-Erze	Melaphyr/-tuffit, Hämatit	Breunerit, Magnesit
Vorwiegende Salzgesteinstypen	Bändersalz, Kerngebirge, Blättersalzgebirge, Anydritisches Tontrümmergebirge	Liniensalz, Haselgebirge	Haselgebirge	Kerngebirge, Blättersalzgebirge

nach N–S liegt bei 670 m. Der tiefste Aufschluss liegt bei 327 m. Vorwiegend wird das anstehende Haselgebirge durch Rotsalz und Buntes Salzgebirge, untergeordnet durch Grünton und anhydritisches Grausalzgebirge aufgebaut. Der durchschnittliche Salzgehalt liegt bei ca. 50 %.

Trauntaler Salzlager: Das Trauntaler Salzlager wird seit 1967 betrieben. Im Unterschied zu den vorher genannten Lagerstätten wird das Trauntaler Salzlager mittels obertägiger Bohrungen abgebaut. Teile der Lagerstätte wurden von Erkundungsbohrungen aus dem Bad Ischler Erbstollen erbohrt, jedoch findet in diesem Bereich noch kein Abbau statt. Die mittlere Erstreckung in W-E-Richtung liegt bei ca. 3.000 m und in N–S-Richtung bei 1.500 m. Der höchste Haselgebirgsaufschluss liegt bei 238 m (E-1) der tiefste bei -243 m (BI-14). Die vorwiegenden Gebirgsarten sind anhydritisches Grausalzgebirge und schwärzlich graues-buntes Salztongebirge, untergeordnet treten Grüntonund Rotsalzgebirge auf. Der Salzgehalt liegt ähnlich jenem von Bad Ischl bei 50 %.

#### Literatur

- GLÜCK, C. (1975): Über die Tonminerale des Haselgebirges. Unveröffentlichte mineralogische Hausarbeit, Universität Salzburg, 26 S., Salzburg.
- GÖRGEY, R. (1912): Über das Steinsalz. Tschermak's mineralogische und petrographische Mitteilungen: Neue Folge, **31**, 664–687, Wien.
- KLAUS, W. (1953): Mikrosporen-Stratigraphie der ostalpinen Salzberge. – Verhandlungen der Geologischen Bundesanstalt, **1953**, 161–175, Wien.
- KLAUS, W. (1965): Zur Einstufung alpiner Salztone mittels Sporen. Verhandlungen der Geologischen Bundesanstalt, **1965**, Sonderheft G, 288–292, Wien.
- MANDL, G.W. (1982): Vergleichende Untersuchung der Hallstätter Faziesräume des mittleren Salzkammerguts (Gosaukammvorland, Hallstatt, Ischl-Aussee): Fazies, Stratigraphie und tektonische Modelle. – Dissertation Universität Wien, VI + 243 S., Wien.
- MAYR, M. (1998): Die Salinen Austria AG und die Geologie ihrer Salzlagerstätten im Salzkammergut. – In: SCHWAIGHOFER, B.
  & SCHNEIDER, J.F: Baugeologisches Seminar. Vorträge 2001/02, **13**, 53–98, Wien.
- PAK, E. (1981): Die Geologische Datierung der ostalpinen Salzlagerstätten mittels Schwefelisotopen. – Verhandlungen der Geologischen Bundesanstalt, **1981**, 185–192, Wien.
- REINOLD, P. (1965): Beitrag zur Geochemie der ostalpinen Salzlagerstätten. – Tschermak's mineralogische und petrographische Mitteilungen, **10**, 505–527, Wien.
- RUSCHA, S. (1976): Die Strontiumgehalte der Anhydrite und Gipse aus dem Salinar der Hallstätter Zone. – Diplomarbeit, Universität Salzburg, 41 S., Salzburg.
- SCHÄFFER, G. (1982): Geologische Karte der Republik Österreich 1:50.000, Blatt 96 Bad Ischl. – Geologische Bundesanstalt, Wien.
- SCHAUBERGER, O. (1955): Zur Genese des alpinen Haselgebirges. – Zeitschrift der Deutschen Geologischen Gesellschaft, 105, 736–751, Hannover.
- SCHAUBERGER, O. (1957): Über Bau und Bildung der alpinen Salzlagerstätten (Vortragsreferat). – Zeitschrift der Deutschen Geologischen Gesellschaft, **109**, 656–657, Hannover.
- SCHAUBERGER, O. (1986): Bau und Bildung der Salzlagerstätten des ostalpinen Salinars. – Archiv für Lagerstättenforschung der Geologischen Bundesanstalt, **7**, 217–254, Wien.
- SCHAUBERGER, O. & KÜHN, R. (1959): Über die Entstehung des alpinen Augensalzes. – Neues Jahrbuch für Geologie und Paläontologie: Monatshefte, **6**, 247–259, Stuttgart.
- TOLLMANN, A. (1976): Monographie der Nördlichen Kalkalpen: Teil III: Der Bau der Nördlichen Kalkalpen: Orogene Stellung und regionale Tektonik. – 449 S., Wien.
- TOLLMANN, A. (1985): Geologie von Österreich, Band 2: Außerzentralalpiner Anteil. – 710 S., Wien.

# Karstwasser Dachstein

#### Einleitung

Das Dachsteingebirge ist mit einer Ausdehnung von etwa 400 km<sup>2</sup> eines der größten geschlossenen Karstareale Österreichs. Seine höchste Erhebung bildet der Hohe Dachstein mit einer Seehöhe von 2.995 m ü. A., das tiefst gelegene Gelände befindet sich mit etwa 508 m ü. A. am Ufer des Hallstätter Sees (vgl. Österreichische Karte 1:50.000 des BEV – Bundesamt für Eich- und Vermessungswesens).

Im Dachsteinmassiv zeugen u.a. zahlreiche Höhlen mit einer Gesamtlänge von etwa 200 km von einer intensiven Verkarstung (HENNE et al., 1994). Das Gebiet zeichnet sich auch durch ein ergiebiges Wasserdargebot aus, das in den großen Niederschlagshöhen begründet ist – im langjährigen Durchschnitt beträgt die Jahresniederschlagshöhe beispielsweise an der Messstelle Lahn-Hallstatt (510 m ü. A.) 1.725 mm und oben am Krippenstein (2.050 m ü. A.) 1.919 mm (BMLFUW, 2012). Dieses ist jedoch ungleichmäßig verteilt: Auf den Hochflächen des Dachsteingebirges herrscht aufgrund der intensiven Verkarstung Wassermangel, während vor allem im Norden des Gebirges große Karstquellen zum Austritt kommen.

#### GERHARD SCHUBERT (1)

Bereits in den frühen 1950er Jahren wurde damit begonnen, den unterirdischen Abfluss des Dachsteingebietes intensiv zu untersuchen. Anfangs wurden Markierungsversuche mit Lycopodium-Sporen durchgeführt (MAYR, 1956; ZÖTL, 1974). Diesen folgten später Markierungsversuche mit Fluoreszenzfarbstoffen (BAUER & VÖLKL, 1989; HERLICSKA & HOBIGER, 1991). In den 1990er Jahren wurden auch die Lösungsinhalte und Isotope der Quellwässer näher untersucht, nämlich im Rahmen des "Pilotprojektes ,Karstwasser Dachstein" (HERLICSKA et al., 1994; SCHEIDLEDER et al., 2001). In diesem Zusammenhang entstand auch die "Geologische Karte der Dachsteinregion" 1:50.000 mit 17 geologischen Schnitten im gleichen Maßstab (MANDL, 1998). Im Folgenden werden die Ergebnisse dieser Arbeiten in ihren Grundzügen dargestellt und hinsichtlich der unterirdischen Abflussverhältnisse zusammenfassend interpretiert.

#### Sporentriftversuche 1953 bis 1960

Am Beginn der Markierungsversuche mit Sporen stand die Analyse der natürlichen Pollenfracht in den Quellwässern durch MAYR (1956). Dieser kam

Abb. 1. Ergebnis der Pollenanalytik im Wasser des Waldbachursprungs (und des Marbachs) sowie der Sporenmarkierung in der Schwinde am Hinteren Gosausee nach MAYR (1956). Hintergrund: "Digitales 10m -Geländemodell aus Airborne Laserscan Daten" von Geoland at lizenziert unter CC BY 3.0.



(1) Geologische Bundesanstalt, Neulinggasse 38, 1030 Wien. gerhard.schubert@geologie.ac.at



Abb. 2. Ergebnis des kombinierten Sporentriftversuchs 1956 nach ZÖTL (1957b). Hintergrund: "Digitales 10m -Geländemodell aus Airborne Laserscan Daten" von Geoland.at lizenziert unter CC BY 3.0.

aufgrund des Vergleichs der Pollenfracht im Waldbachursprung, der größten Quelle des Dachsteinmassivs, mit dem Pießling-Ursprung, einer Karstriesenquelle im Norden des Warschenecks, zum Schluss, dass das Wasser des Waldbachursprungs von Gletschern gespeist werden muss. Während im Pießling-Ursprung, der in seinem Einzugsgebiet keine Gletscher aufweist, die Pollenfracht jeweils der Jahreszeit entsprach, wies der Waldbachursprung über das ganze Jahr hinweg ein gemischtes Pollenspektrum auf. Dies führte MAYR (1956) auf den Schmelzwasseranteil aus Gletschereis zurück, das über einen längeren Zeitraum hinweg Pollen zu speichert vermag (Abb. 1).

Durch dieses Ergebnis ermutigt, führte er im Jahr 1953 (MAYR, 1956) im Westen des Dachsteingebirges einen Markierungsversuch mit künstlich eingebrachten Sporen durch. Er verwendete dabei acht Kilogramm Sporen einer im Dachsteingebiet nicht heimischen Lycopodium-Art. Diese wurden in einer Schwinde am Hinteren Gosausee eingebracht, wobei in der Folge der Große Brunnbach sowie der Waldbachursprung auf Sporen beprobt wurden. Bei diesem Markierungsversuch traten die Sporen im Waldbachursprung bereits nach 165 Stunden und im Großen Brunnbach nach 190 Stunden auf (Abb. 1). Damit konnte der Nachweis erbracht werden, dass das Einzugsgebiet des Waldbachursprungs weit nach Westen ausgreift, was MAYR (1956) auf das stark verkarstete, SSW-NNE verlaufende Störungssystem östlich des Hinteren Gosausees zurückführt (Abb. 1).

Die von MAYR (1956) ermittelten Durchgangszeiten sind deutlich länger als die in Abbildung 6 wiedergegebenen. Bei den in Abbildung 6 abgebildeten Zahlen handelt es sind um die bei späteren Markierungsversuchen gemessenen, kürzesten Durchgangszeiten. Die Geschwindigkeit des unterirdischen Abflusses kann je nach hydrologischer Situation variieren. Lokal kann sich sogar die Fließrichtung ändern, wie folgende Beobachtung von MAYR (1956) zeigt: Er führt in seinem Bericht an, dass die später für die Einspeisung genutzte Kluft am Hinteren Gosausee, die bei niederem Seewasserstand als Schinde fungiert, im Frühjahr 1953 aufgrund des starken Schmelzwasserandranges als Wasserspeier aktiv war.

1956 wurde von ZÖTL (1957a, b) im Osten des Dachsteingebietes ein Sporentriftversuch durchgeführt, bei dem zu unterschiedlichen Zeiten fünf Einspeisungsstellen mit Lycopodium-Sporen beschickt wurden. Die Einspeisungsstellen befanden sich bei der Dachstein-Rieseneishöhle, auf der Herrenalm, im Landfriedtal, auf der Maisenberg Alm und am Miesboden (vgl. Abb. 2). Bei diesem Sporentriftversuch wurden an vier Einspeisungsstellen gefärbte Sporen und bei einer ungefärbte Sporen verwendet, um in den Quellen die Herkunft der Sporen unterscheiden zu können. DECHANT (1967) entwickelte für diesen Zweck eine geeignete Färbungsmethode. Die Interpretation des Markierungsergebnissens durch ZÖTL (1957b) ist in Abbildung 2 wiedergegeben.



#### Abb. 3.

Interpretation der Sporentriftversuche im Dachsteingebiet nach BAUER et al. (1958) bzw. ZÖTL (1974); die Autoren nahmen damals an, dass das verkarstete Dachsteingebirge unterirdisch radialstrahlig nach allen Richtungen entwässert. Hintergrund: "Digitales 10m - Geländemodell aus Airborne Laserscan Daten" von Geoland.at lizenziert unter CC BY 3.0.

1957 wurde von BAUER (1958) im Bereich des Oberfeldes ein Sporentriftversuch mit gefärbten Sporen durchgeführt. 1958 folgte ein großräumiger kombinierter Sporentriftversuch mit unterschiedlich gefärbten Sporen im zentralen Teil des Dachsteingebietes. Dabei wurden gleichzeitig gefärbte Sporen im Bereich des Schladminger Gletschers, des Schneelochgletschers, des Wurzerkars und des Krippensteins sowie bei der



Abb. 4. Revidiertes Ergebnis der Sporentriftversuche im Dachsteingebiet nach BAUER & VÖLKL (1989); die nachgewiesene Fließrichtung des Karstwassers ist demnach hauptsächlich nordgerichtet. Hintergrund: "Digitales 10m -Geländemodell aus Airborne Laserscan Daten" von Geoland.at lizenziert unter CC BY 3.0.

Schönbergalm ungefärbte Sporen versickert. Das Ergebnis dieses Versuches schien nach BAUER & VÖLKL (1989: 7) die schon beim Großmarkierungsversuch des Jahres 1956 sich abzeichnende radialstrahlige Entwässerung des Dachsteingebirges zu bestätigen (vgl. Abb. 3).

1960 wurde des Weiteren vom Speläologischen Institut ein Markierungsversuch mit unterschiedlich gefärbten Sporen an einer Schmelzwasserschwinde am Großen Gosaugletscher und an einer Schwinde bei der Angeralm durchgeführt, dessen Ergebnis ebenfalls in das Bild einer radialstrahligen Entwässerung passte (BAUER & VÖLKL, 1989: 7).

BAUER & VÖLKL (1989) gingen von dieser Interpretation ab. Aufgrund möglicher Fehler bei der Ansprache der Sporen und vor allem aufgrund möglicher Kontaminationen erachteten sie im Prinzip nur dann einen Tracerdurchgang als nachgewiesen, wenn in einer Quelle mehrmals hintereinander die gleichen Sporen auftraten.

Insbesondere wiesen sie darauf hin, dass bei der Interpretation die beim jeweiligen Tracerversuch herrschenden Rahmenbedingungen zu berücksichtigen sind. Nach Durchsicht der Rohdaten der Sporentriftversuche kommen sie zum Schluss, dass diese im Dachsteingebiet vor allem nur Verbindungen nach Norden nachweisen, was im Gegensatz zur bisherigen Auffassung stand (vgl. Abb. 3 und 4). Dieses neue Ergebnis wurde durch die Markierungen mit Fluoreszenzfarbstoffen bestätigt (Abb. 5).

# Markierungsversuche mit Fluoreszenzfarbstoffen

In den Jahren 1984 bis 1986 wurden im Dachsteingebiet an insgesamt 19 Einspeisestellen Fluoreszenztracer in den Untergrund eingebracht. Dies erfolgte durchwegs an Schwinden bzw. Schlucklöchern. Dabei wurde auf die Vermeidung von Kontaminationen besonders geachtet (BAUER & VÖLKL, 1989). Untersucht wurden Wasserproben und Aktivkohlesäckchen. Das Ergebnis dieser Markierungsversuche ist in Abbildung 5 zu sehen. Es zeichnete sich ein rascher, vorwiegend nordgerichteter unterirdischer Abfluss ab; zumeist war der Farbstoff innerhalb weniger Tage im Quellwasser nachzuweisen.

1990 wurden – als Fortführung der bisherigen Markierungsversuche mit Fluoreszenzfarbstoffen – im Westen des Dachsteingebietes zwei weitere Markierungsversuche mit Fluoreszenzfarbstoffen durchgeführt (HERLICSKA & HOBIGER, 1991). Ziel der Untersuchungen war es, die unterirdische Wasserscheide zwischen den Brunnbächen im Gosautal und dem Waldbach im Echerntal bei Hallstatt bei unterschiedlichen hydrologischen Verhältnissen zu erfassen – nämlich in Hinblick auf eine geplante Schongebietsverordnung.

An jeweils vier Stellen (Seekarwand, Beim Kreuz, Radltal und Steirerloch) wurden nördlich bzw. nordöstlich des Hinteren Gosausees bei Hochund bei Niederwasser Fluoreszenzfarbstoffe eingespeist. Im besagten Untersuchungsgebiet konn-



Abb. 5. Ergebnis der Markierungsversuche mit Fluoreszenzfarbstoffen nach BAUER & Völkl (1989). Hintergrund: "Digitales 10m -Geländemodell aus Airborne Laserscan Daten" von Geoland.at lizenziert unter CC BY 3.0.

te aufgezeigt werden, dass sich die Einzugsgebiete der Wasserversorgungsanlage (WVA) von Gosau (Quellbezirk Brunnbäche) und der WVA von Hallstatt (Quellbezirk Waldbachursprung) überschneiden und sich dabei je nach Witterungslage ändern. Die Publikation von HERLICSKA & HOBIGER (1991) enthält übrigens umfangreiche Detailergebnisse dazu, u.a. Durchgangskurven und statistische Auswertungen zu den Messreihen. Gerhard Völkl war

#### Abb. 6.

Hydrogeologische Übersichtskarte zum Dachsteingebiet mit Lage der im "Pilotprojekt ,Karstwasser Dachstein"" untersuchten Quellen und ausgewählten Ergebnissen der früheren Markierungsversuche. In einigen Bereichen liegen Ergebnisse mehrerer Markierungsversuche vor. Die in den Pfeilen angegebene Durchgangszeit ist die jeweils kürzeste, die gemessen wurde. Der wichtigste Aquifer im Dachsteingebiet ist der stark verkarstete Dachsteinkalk, der generell nach Norden einfällt und den starken unterirdischen Karstwasserabfluss zu den großen Karstquellen im Norden verursacht. an der Vorbereitung dieser Markierungsversuche und an der Interpretation maßgeblich beteiligt, wie aus HERLICSKA & HOBIGER (1991) hervorgeht.

# Ergebnisse des "Pilotprojektes ,Karstwasser Dachstein"

Das "Pilotprojekt ,Karstwasser Dachstein"" (HER-LICSKA et al., 1994; SCHEIDLEDER et al., 2001) hatte zum Ziel, die Qualität des Karstwassers im Dachsteingebiet zu untersuchen und die maßgeblichen Einflussfaktoren zu erfassen. Es sollten auch Erkenntnisse in Hinblick auf den weiteren Ausbau des staatlichen Gewässermessnetzes (heute Gewässerzustandsüberwachungsverordnung, GZÜV) und für den Karstwasserschutz gewonnen werden. Unter anderem wurden im Zeitraum August 1991 bis August 1992 an mehr als 40 Quellen jeweils fünf hydrochemische Proben sowie Proben auf Deuterium und Sauerstoff-18 untersucht, wobei die hydrochemischen Messwerte in HERLICSKA et al. (1994) und die Isotopendaten in





#### Abb. 7.

Schüttungsganglinien der Karstquellen im Dachsteingebiet. In Grau gehalten sind die großen Karstquellen im Norden, in Schwarz die dolomitbetonten Quellen im Süden. Unter letzteren stellt die Quelle 602 aufgrund der größeren Schüttungsschwankung eine Ausnahme dar. Quellen der Hallstätter Zonen kommen – wie in den folgenden Diagrammen – nicht zur Darstellung.



#### Abb. 8.

Sauerstoff-18-Ganglinien der großen Karstquellen im Norden des Dachsteingebietes; die schwarz eingefärbte Quelle 110 stellt aufgrund des ausgeglichenen Verlaufs eine Ausnahme dar (vgl. Tab. 1). Wie ihr Chemismus aufzeigt (Abb. 10), besitzt sie ein dolomitreicheres Einzugsgebiet als die anderen Nordquellen. Vermutlich ist es der Wettersteindolomit im Liegenden des Dachsteinkalkes, der auch das bessere Speicherverhalten bedingt.

SCHEIDLEDER et al. (2001) wiedergegeben werden. Bei ausgewählten Quellen wurde auch Tritium bestimmt sowie Deuterium und Sauerstoff-18 häufiger beprobt. In SCHEIDLEDER et al. (2001) werden zudem auch zum Niederschlag Sauerstoff-18-Werte wiedergegeben.

Im "Pilotprojekt ,Karstwasser Dachstein" war auch die Geologische Bundesanstalt (GBA) eingebunden, nämlich in Hinblick auf die Erstellung einer geologischen Karte zum Dachsteingebiet (MANDL, 1998, 2001b) und die hydrogeologische Interpretation der Messergebnisse (BOROVICZENY,



#### Abb. 9.

Sauerstoff-18-Ganglinien der dolomitbetonten Quellen im Süden des Dachsteingebietes; die schwarz eingefärbte Quelle 602 stellt aufgrund der starken Schwankungen eine Ausnahme dar (Abb. 7).



#### Abb. 10.

Ca<sup>2+</sup>/Mg<sup>2+</sup>-Verhältnis der großen Karstquellen im Norden (Quellen N und Quelle 110) sowie der dolomitbetonten Quellen im Süden (Quellen S und Quelle 502). Die Quellen im Norden haben zumeist ein relativ hohes Ca<sup>2+</sup>/Mg<sup>2+</sup>-Verhältnis, was mit dem kalkbetonten Einzugsgebiet (Dachsteinkalk) zusammenhängt. Nur die Quelle 110 weist – verglichen mit den anderen Nordquellen – stets einen relativ geringen Wert auf. Ihr Lösungsinhalt wird offensichtlich durch den Wettersteindolomit im Liegenden des Dachsteinkalkes stärker beeinflusst. Bei den Quellen im Süden stellt die Quelle 502 zeitweise eine Ausnahme dar (vgl. Abb. 6).

2001; MANDL, 2001a; SCHUBERT, 2001). TRIMBORN et al. (2001) interpretierten die Isotopendaten im Hinblick auf die Verweilzeit. Basierend auf einer Modellierung des Speicherdurchflusses zeigten sie auf, dass die typischen Quellen im Norden des Dachsteins deutlich geringere mittlere Verweilzeiten aufweisen als die im Süden (vgl. Tab. 1).

Wenn man von jenen Quellen absieht, die im Bereich von Hallstätter Schollen entspringen –



#### Abb. 11.

Sulfatgehalt der großen Karstquellen im Norden (Quellen N) und der dolomitbetonten Quellwässer im Süden des Dachsteingebirges. Unter den Quellen im Süden kommen Nr. 605 bis 724 (Quellen SW) aufgrund des vielfach hohen Sulfatgehaltes offenbar mit Gips der Werfener Schichten in Kontakt, die weiter östlich gelegenen Quellen 502 bis 602 (Quellen SE) weisen hingegen stets einen geringen Wert auf (vgl. Abb. 6).

diese sind im Unterschied zum großen Rest des Dachsteinmassivs zumeist durch einen wechselhafteren geologischen Bau und kleinräumigere Verhältnisse gekennzeichnet – so kann man die Quellen des Dachsteingebietes aus hydrogeologischer Sicht in zwei Gruppen gliedern: Nämlich in die tief gelegenen, großen Karstquellen im Norden und die zahlreicheren kleinen Quellen mit vorwiegend dolomitischem Einzugsgebiet im Süden (Abb. 6).

Die großen Karstquellen im Norden weisen für Karstquellen typische, große Schüttungsschwankungen auf und erreichen besonders hohe Maximalschüttungen (Abb. 7). Ihr Aquifer ist der stark verkarstete Dachsteinkalk, der generell nach Norden einfällt und so den unterirdischen Abfluss in diese Richtung lenkt. Die Quellen im Süden hingegen entspringen vielfach über den stauenden Werfener Schichten bzw. den Schiefern der Grauwackenzone. Ihr Einzugsgebiet ist wesentlich kleiner und besteht vorwiegend aus mitteltriassischem Dolomit und Dolomitschutt (hauptsächlich Wettersteindolomit). Im Unterschied zu den Karstquellen im Norden weisen sie zumeist geringe Schüttungsschwankungen auf, ihre Gesamtschüttung ist aber in der Regel vergleichsweise bescheiden (Abb. 7).

Die unterschiedliche Schüttungsdynamik der Nord- und der Südquellen äußert sich auch in ihrem Isotopengehalt. Während die Nordquellen

	jüngere Kom	ponente	ältere Komponente		
Quelle	Anteil (%)	mittlere Verweilzeit	Anteil (%)	mittlere Verweilzeit	
110	7	0,4	93	6	
201	38	≤ 0,1	62	3	
203	35	≤ 0,1	65	3	
507	14	0,3	86	6	
512	9	0,3	91	3	
605	6	0,4	94	6	

Tab. 1.

Verweilzeiten ausgewählter Nord- (Quellen 110, 201 und 203) und Südquellen (507, 512 und 605) nach TRIMBORN et al. (2001); die Nordquellen haben – wenn man von Quelle 110 absieht – eine geringere Verweilzeit als die Südquellen.

beim Sauerstoff-18 großen Schwankungen unterliegen (Abb. 8), ist die Ganglinie bei den Südquellen zumeist ausgeglichen (Abb. 9). TRIMBORN et al. (2001) errechneten für ausgewählte Karstquellen im Norden deutlich geringere Verweilzeiten als für jene im Süden (Tab. 1).

Die beiden genannten Quellgruppen haben auch in Bezug auf ihren Lösungsinhalt ihre jeweiligen Eigenheiten. Abbildung 10 zeigt das Ca<sup>2+</sup>/ Mg<sup>2+</sup>-Verhältnis dieser Quellen. Während dieses bei den Karstquellen im Norden (wenn man von Quelle 110 absieht) stets über 3,5 zu liegen kommt, ist dieses bei den Quellen im Süden in der Regel niedriger. Innerhalb der Quellwässer des Südens lassen sich diejenigen, die mit Gipsen der Werfener Schichten in Kontakt treten, hydrochemisch von jenen unterscheiden, die dies nicht tun (Abb. 11).

#### Literatur

- BAUER, F. (1958): Quellwassergefährdung in Karstgebieten (Untersuchungsergebnisse aus dem Dachsteingebiet). – Österreichische Wasserwirtschaft, **10**, 100–103, Wien.
- BAUER, F. (1958): Die unterirdischen Abflussverhältnisse im Dachsteingebiet und ihre Bedeutung für den Karstwasserschutz. – Reports Umweltbundesamt, **28**, 73 S., Wien.
- BAUER, F. & VÖLKL, G. (1989): Die Unterirdischen Abflussverhältnisse im Dachsteingebiet und ihre Bedeutung für den Karstwasserschutz. – UBA-Report, 28, 73 S., Umweltbundesamt, Wien.
- BAUER, F., ZÖTL, J. & MAYR, A. (1958): Neue karsthydrographische Forschungen und ihre Bedeutung für Wasserwirtschaft und Quellschutz. – Wasser und Abwasser, 3, 280–297, Wien.
- BMLFUW (2012): Hydrographisches Jahrbuch von Österreich, **118** (2010), 968 S., Hydrographischer Dienst, Wien.
- BOROVICZENY, F. (2001): Klassifizierung der Gesteinseinheiten nach hydrogeologischen Gesichtspunkten. – In: SCHEIDLEDER, A., BOROVICZENY, F., GRAF, W., HOFMANN, T., MANDL, G.W., SCHUBERT, G., STICHLER, W., TRIMBORN, P. & KRALIK, M.: Pilotprojekt "Karstwasser Dachstein". Band 2: Karsthydrologie und Kontaminationsrisiko von Quellen. – Archiv für Lagerstättenforschung, **21** und Monographien, **108**, 37–38, Geologische Bundesanstalt und Umweltbundesamt, Wien.
- DECHANT, M. (1967): Das Anfärben von Lycopodiumsporen. Steirische Beiträge zur Hydrogeologie, **18/19**, 241–247, Graz.
- HENNE, P., KRAUTHAUSEN, B. & STUMMER, G. (1994): Höhlen im Dachstein. Derzeitiger Forschungsstand, Anlage der Riesenhöhlensysteme am Dachstein-Nordrand und Bewertung der unterirdischen Abflussverhältnisse. – Die Höhle, **45**, 48–67, Wien.
- HERLICSKA, H. & HOBIGER, G. (1991): Karsthydrologische Untersuchungen im westlichen Dachsteinmassiv in Hinblick auf die Erlassung einer Wasserschongebietsverordnung. Markierungsversuche Dachstein-West 1990. – UBA-Report, **56**, 62 S., Umweltbundesamt, Wien.
- HERLICSKA, H., LORBEER, G.E., BOROVICZENY, F., LASSING, M., MANDL, G.W., PAVUZA, R. & STUMMER, G. (1994): Pilotprojekt "Karstwasser Dachstein". Band 1: Karstwasserqualität. – Monographien, **41**, 233 S., Umweltbundesamt, Wien.
- MAYR, A. (1956): Das Hallstätter Trinkwasser. Jahrbuch des Oberösterreichischen Musealvereines, **101**, 319–331, Linz.
- MANDL, G. (1998): Geologische Karte der Dachsteinregion. In: SCHEIDLEDER, A., BOROVICZENY, F., GRAF, W., HOFMANN, T., MANDL, G.W., SCHUBERT, G., STICHLER, W., TRIMBORN, P. & KRALIK, M.: Pilotprojekt "Karstwasser Dachstein". Band 2: Karsthydrologie und Kontaminationsrisiko von Quellen. – Archiv für Lagerstättenforschung, **21** und Monographien, **108**, Geologische Bundesanstalt und Umweltbundesamt, Wien.

- MANDL, G.W. (2001a): Schichtenfolge. In: SCHEIDLEDER, A., BOROVICZENY, F., GRAF, W., HOFMANN, T., MANDL, G.W., SCHUBERT, G., STICHLER, W., TRIMBORN, P. & KRALIK, M.: Pilotprojekt "Karstwasser Dachstein". Band 2: Karsthydrologie und Kontaminationsrisiko von Quellen. – Archiv für Lagerstättenforschung, **21** und Monographien, **108**, 13–29, Geologische Bundesanstalt und Umweltbundesamt, Wien.
- MANDL, G.W. (2001b): Tektonischer Bau der Dachsteingruppe. – In: SCHEIDLEDER, A., BOROVICZENY, F., GRAF, W., HOFMANN, T., MANDL, G.W., SCHUBERT, G., STICHLER, W., TRIMBORN, P. & KRALIK, M.: Pilotprojekt "Karstwasser Dachstein". Band 2: Karsthydrologie und Kontaminationsrisiko von Quellen. – Archiv für Lagerstättenforschung, **21** und Monographien, **108**, 29–37, Geologische Bundesanstalt und Umweltbundesamt, Wien.
- SCHEIDLEDER, A., BOROVICZENY, F., GRAF, W., HOFMANN, T., MANDL, G.W., SCHUBERT, G., STICHLER, W., TRIMBORN, P. & KRALIK, M. (2001): Pilotprojekt "Karstwasser Dachstein". Band 2: Karsthydrologie und Kontaminationsrisiko von Quellen. – Archiv für Lagerstättenforschung, **21** und Monographien, **108**, 155 S., Geologische Bundesanstalt und Umweltbundesamt, Wien.
- SCHUBERT, G. (2001): Hydrogeologie des Dachsteinmassivs. –
  In: SCHEIDLEDER, A., BOROVICZENY, F., GRAF, W., HOFMANN, T., MANDL, G.W., SCHUBERT, G., STICHLER, W., TRIMBORN, P. & KRALIK, M.: Pilotprojekt "Karstwasser Dachstein". Band 2: Karsthydrologie und Kontaminationsrisiko von Quellen. – Archiv für Lagerstättenforschung, **21** und Monographien, **108**, 111–125, Geologische Bundesanstalt und Umweltbundesamt, Wien.
- TOLLMANN, A. (1960): Die Hallstätter Zone des östlichen Salzkammergutes und ihr Rahmen. – Jahrbuch der Geologischen Bundesanstalt, **103**, 37–131, Wien.
- TRIMBORN, P., STICHLER, W. & GRAF, W. (2001): Umweltisotopen (2H, 3H, 18O). In: SCHEIDLEDER, A., BOROVICZENY, F., GRAF, W., HOFMANN, T., MANDL, G.W., SCHUBERT, G., STICHLER, W., TRIMBORN, P. & KRALIK, M.: Pilotprojekt "Karstwasser Dachstein". Band 2: Karsthydrologie und Kontaminationsrisiko von Quellen. Archiv für Lagerstättenforschung, **21** und Monographien, **108**, 86–100, Geologische Bundesanstalt und Umweltbundesamt, Wien.
- ZÖTL, J. (1957a): Der Einzugsbereich von Quellen im Karstgebirge. – Österreichische Wasserwirtschaft, 9, 77–86, Wien.
- ZÖTL, J. (1957b): Neue Ergebnisse der Karsthydrologie. Untersuchungen im Dachsteingebiet mit Hilfe der Sporentriftmethode. – Erdkunde, **11**, 107–117, Bonn.
- ZÖTL, J. (1974): Karsthydrogeologie. 291 S., Wien–New York.

# **3D-Modell Dachstein / Geologische 3D-Modellierung an der Geologischen Bundesanstalt**

CLEMENS PORPACZY (1) ARNO KAIMBACHER (1) & MAGDALENA BOTTIG (1)

# Einleitung

Geologische 3D-Modellierung gewinnt an vielen Geologischen Diensten neben der klassischen geologischen Geländekartierung zunehmend an Bedeutung und stellt einen integralen Bestandteil bei der geologischen Landesaufnahme und Informationsweitergabe dar (KESSLER et al., 2009; GLYNN et al., 2011; VAN DER MEULEN et al., 2013; PFLEIDERER & KESSLER, 2015).

Seit etwa 2004 wird an der Geologischen Bundesanstalt im Rahmen verschiedener nationaler sowie internationaler Projektarbeiten geologische 3D-Modellierung angewendet (Projekte: Geomol, Transenergy, Thermtec, Thermalp; GÖTZL et al., 2012, 2015; MAROS et al., 2012; PFLEIDERER et al., 2016). Im Lauf der Jahre sind dadurch eine Reihe z.T. sehr heterogener 3D-Regionalmodelle entstanden, welche zur Bearbeitung angewandter Fragestellungen und als Grundlage für Prozessmodellierungen dienten, um beispielsweise Grundwasserströmungen oder Wärmeverteilungen im Untergrund zu simulieren.

Die Erstellung eines 3D-Modells beginnt mit der Datenerhebung aller vorhandenen Untergrundinformationen für das zu modellierende Gebiet in Form von geologischen Karten, geologischen Profilschnitten, Strukturkarten, Bohrprofilen sowie Untergrunddaten aus geophysikalischen Erkundungsmethoden (Seismische 2D- und 3D-Messungen, Bohrlochgeophysik, Geoelektrik). Alle Daten werden digitalisiert, harmonisiert und anschließend mithilfe des Modellierungsprogramms zusammengefügt, wodurch sich die Konsistenz und Plausibilität der Eingangsdaten überprüfen lässt. Auf Basis dieser Punkt- und Liniendaten werden mittels Interpolationsmethoden triangulierte Flächen von Schichtober- und Unterkanten, tektonischen Störungsflächen oder auch Schichtkörpern berechnet.

Aufgrund der unterschiedlichen Ausgangslage bezüglich vorhandener Untergrundinformation, können bei bisher von der Geologischen Bundesanstalt erstellten 3D-Regionalmodellen des Untergrundes zwei Arten unterschieden werden:

• Regionalmodelle von Becken- und Talregionen

In Becken- und Talregionen ist die Datengrundlage von Seicht- und Tiefbohrungen (Sondierungsbohrungen im Rahmen von Bauvorhaben, Explorationstätigkeit der Kohlenwasserstoffindustrie, Tiefbrunnen), Profilen und Strukturkarten meist gut. Zusätzlich ergeben sich im Bereich von Siedlungsgebieten zahlreiche angewandte Fragestellungen. Daher decken die meisten bisher an der Geologischen Bundesanstalt erstellten Modelle die Becken-und Talregionen Österreichs ab. Bisher durchgeführte Projekte betreffen Geomol (Molassebecken), Transenergy (Wiener Becken, Steirisches Becken, Pannonisches Becken), Transthermal (Lavanttal-Becken, Villach-Karawanken-Becken), Thermalp (Südliches Wiener Becken) und SC-27 (Becken und Talregionen im Land Salzburg), (GÖTZL et al., 2007, 2012, 2016; MAROS et al., 2012; PFLEIDERER et al., 2016).

Regionalmodelle von Gebirgsregionen
 In Gebirgsregionen beschränkt sich die
 Datengrundlage für die Untergrundmodellie rung – aufgrund kaum vorhandener Boh rungen – meist auf geologische Karten und
 Profilschnitte. Die Modellierungsgenauigkeit
 nimmt daher mit zunehmender Tiefe unter
 Gelände rapide ab. Für die Validierung eines
 Regionalmodells in Gebirgsregionen ist daher
 die Zusammenarbeit mit dem/der jeweils
 kartierenden Geologen/Geologin aufgrund
 dessen/deren regionalgeologischer Expertise
 und dreidimensionaler Vorstellungen umso
 wichtiger.

<sup>(1)</sup> Geologische Bundesanstalt, Neulinggasse 38, 1030 Wien. clemens.porpaczy@geologie.ac.at





Bisher durchgeführte Projekte betreffen Thermtec (Tauernfenster) und Hallstatt-Dachstein (Dachsteinregion) (Götzl et al., 2015).

Regionalmodelle decken bisher 20–30 % der österreichischen Landesfläche ab, wobei der Detaillierungsgrad je nach Fragestellung und Datengrundlage variiert.

# Geologisches 3D-Modell Hallstatt-Dachstein

Das Dachsteinmassiv ist geologisch und hydrogeologisch sehr gut erforscht. Dominierendes Element dieses Gebirgszuges ist eine etwa 2.000 m mächtige, nordgeneigte Karbonatplattform aus Dachsteinkalk und Wettersteindolomit der Mittel- bis Obertrias, die über Wasser stauenden Quarziten, Sand- und Tonsteinen der Werfener Schichten sowie Phylliten und Schiefern der Grauwackenzone liegt (Abb. 1). Aufgrund der starken Verkarstung findet die Entwässerung des Dachsteinmassivs vorwiegend unterirdisch statt. Die Neigung der Plattform führt zu einer überwiegend nordgerichteten Entwässerung des Niederschlagswassers, welches in großen Karstquellen am Nordrand des Dachsteins zutage tritt (BAUER, 1989; SCHEIDLEDER et al., 2001). Eine Besonderheit im geologischen Bau der Hallstatt-Dachsteinregion stellen die westlich des Hallstätter Sees gelegenen Hallstätter Schollen dar, die aus vorwiegend permischen Evaporiten des Haselgebirges bestehen und im Jura auf die Plattform überschoben wurden (Abb. 1).

Das geologische 3D-Modell der Hallstatt-Dachsteinregion erstreckt sich über eine Fläche von ca. 930 km<sup>2</sup> und fällt in seiner Ausdehnung mit der geologischen Karte der Dachsteinregion 1:50.000 zusammen (MANDL, 1998). Es umfasst das Ennstal

#### Abb. 2.

Links: Flächenausdehnung des Modells der Hallstatt-Dachsteinregion (rotes Rechteck). Rechts: Screenshot des Modells (Blickrichtung Südwest). im Süden, Bad Aussee im Norden, Bad Mitterndorf im Osten sowie das Gebiet um den Vorderen Gosausee im Westen (Abb. 2).

In dieses Modell wurden sämtliche verfügbaren Untergrunddaten eingebunden. Es dient in erster Linie zur Visualisierung des Untergrundes der UNESCO Kulturlandschaft Hallstatt-Dachstein-Salzkammergut. Die modellierten Schichtflächen können jedoch für eine weiterführende hydrogeologische oder geothermische Prozessmodellierung herangezogen werden. Darüber hinaus kann das Modell bei Bedarf mit neu generierten Daten und im Hinblick auf geänderte Fragestellungen adaptiert werden. Folgende Datensätze wurden bisher für die Modellierung berücksichtigt:

- Geologische Karten: Geologische Karte der Dachsteinregion 1:50.000 (MANDL, 1998), GK 96 Bad Ischl 1:50.000 (SCHÄFFER, 1982), GK 127 Schladming 1:50.000 (MANDL & MATURA, 1995).
- Geologische Profilschnitte: 17 Profile von MANDL (1998), 2 Profile von MANDL et al. (2014), 5 Profile von MANDL et al. (2012), 8 Profile von SCHEIDLEDER et al. (2001), 1 Profil von SCHMID et al. (2003).
- Bohrprofile: 1 Bohrung von SCHMID et al. (2003), 8 Bohrungen von MANDL et al. (2012).
- Höhlenpläne:

Vermessungen der Dachstein-Mammuthöhle und Dachstein-Gletscherhöhlen (zur Verfügung gestellt von Lukas Plan, Naturhistorisches Museum Wien).

 Grubenpläne: Grubenplan Salzbergwerk Hallstatt (zur Verfügung gestellt von Gerd Hofer, Salinen Austria AG, Ebensee).



# 3D-Modelle als Erweiterung geologischer 2D- Darstellungen

Geologische 3D-Modelle stellen eine Erweiterung der klassischen zweidimensionalen geologischen Karte dar. Konzeptuelle Vorstellungen des dreidimensionalen Aufbaus des Untergrundes, die bei der Projektion geologischer Informationen auf zweidimensionale Darstellungsebenen (Karten, Profilschnitte) verloren gehen, können durch ein 3D-Modell zur Gänze beschrieben werden. Dadurch bleibt geologisches Wissen erhalten und Modellvorstellungen können überprüft werden. Darüber hinaus sind in drei Dimensionen weit größere Datenmengen visualisierbar als bei einer 2D-Darstellung. Bei fortschreitender geologischer Erkundungstätigkeit des Untergrundes und einer stetig wachsenden Menge an Daten können 3D-Modelle einen unerlässlichen Beitrag leisten, um die Fülle an Information zu verarbeiten. Überdies können neben der Visualisierung von geologischen Strukturen Informationen über den Untergrund anhand von virtuellen Profilschnitten und Bohrungsprofilen aus dem Modell abgefragt werden, die für angewandte Fragestellungen sehr hilfreich sind. Da der Untergrund durch den Menschen in vielfältiger Weise genutzt wird (Erdöl- und Erdgas-Produktion, Erdwärmenutzung, Grundwasserversorgung, Rohstoffgewinnung, CO<sub>2</sub>-Speicherung, Lagerung von atomaren und chemischen Abfällen) und in Zukunft mit verstärkten und auch konkurrierenden Nutzungsansprüchen zu rechnen ist, können 3D-Modelle auch einen wichtigen Beitrag als Planungsgrundlage und Entscheidungshilfe leisten (VAN DER MEULEN et al., 2013; PFLEIDERER et al., 2016).

Aufgrund dieser Entwicklungen werden 3D-Darstellungen und Anwendungen neben den klassischen geologischen Karten und Profilschnitten als Mittel zur geologischen Informationsweitergabe zunehmend an Bedeutung gewinnen (GLYNN et al., 2011; PFLEIDERER & KESSLER, 2015).

# Web 3D-Viewer der Geologischen Bundesanstalt

Um geologische 3D-Modelle für Fachkollegen sowie der interessierten Öffentlichkeit, unabhängig von softwarespezifischen Lösungen, zugänglich machen zu können, wurde an der Geologischen Bundesanstalt auf Basis von WebGL und Open Source Softwarebibliotheken die Webapplikation "3D-Geology" entwickelt (https://gisgba.geologie. ac.at/3dviewer). Dabei handelt es sich um einen webbasierten 3D-Viewer, welcher die interaktive Betrachtung von 3D-Modellen über einen Webbrowser ermöglicht (Abb. 3).

Die einfache Bedienbarkeit sowie der Verzicht auf Plug-Ins standen bei der Konzeptphase dieser Applikation im Vordergrund, um einen möglichst großen Nutzerkreis anzusprechen. Die modulare Systemarchitektur ermöglicht es zudem, rasch auf Verbesserungsvorschläge zu reagieren und die Software entsprechend adaptieren zu können. Mithilfe von Abfragefunktionen können virtuelle Bohrprofile an jedem Punkt des dargestellten Modells generiert werden. Die Darstellung von Nord–Süd- und Ost–West-Profilschnitten lässt sich intuitiv mithilfe eines 3D-Slicers bewerkstelligen. Bei der Entwicklung wurde mittels responsive webdesign darauf geachtet, dass der 3D-Viewer auch über mobile Endgeräte wie Smartphones und Tab-



Screenshot der Webapplikation "3D-Geology" mit einem geologischen Untergrundmodell von Wien (Blickrichtung Südost). lets bedient werden kann und die Steuerung über Touchscreen möglich ist. Die Webapplikation ist über die Homepage der Geologischen Bundesanstalt abrufbar. Derzeit kann ein geologisches Untergrundmodell des Wiener Stadtgebietes über den 3D-Viewer interaktiv erkundet werden. In Zukunft sollen weitere 3D-Modelle, welche im Rahmen von Projektarbeiten entstanden sind (siehe Einleitung), dargestellt werden.

#### Literatur

- BAUER, F. (1989): Die unterirdischen Abflussverhältnisse im Dachsteingebiet und ihre Bedeutung für den Karstwasserschutz. – Report, Umweltbundesamt-89-28, 74 S., Wien.
- GLYNN, P., JACOBSEN, L., PHELPS, G., BAWDEN, G., GRAUCH, V., ORNDORFF, R., WINSTON, R., FIENEN, M., CROSS, V. & BRATTON, J. (2011): 3D/4D Modelling, Visualization and Information Frameworks: Current U.S. Geological Survey Practice and Needs. – In: RUSSELL, H.A.J., BERG, R.C. & THORLEIFSON, L.H. (Eds.): Three-Dimensional Geological Mapping: Workshop Extended Abstracts, Minneapolis, Minnesota, October 8, 2011, Geological Survey of Canada, Open File 6998, 80, Ottawa. DOI: https://dx.doi.org/10.4095/289609
- GÖTZL, G., POLTNIG, W., DOMBERGER, G. & LIPIARSKI, P. (2007): Projekt TRANSTHERMAL. Geothermie der Ostalpen – Erfassung und zusammenfassende Darstellung des geothermischen Potenzials in Datenbanken, in einem Geothermieatlas und in GIS-basierten Kartenwerken im Bereich von Kärnten, Steiermark und Slowenien. – Nationaler Abschlussbericht für Österreich, Johanneum Research und Geologische Bundesanstalt, 156 S., Wien–Graz–Klagenfurt.
- GÖTZL, G., BOTTIG, M., HOYER, S., JANDA, C., ZEKIRI, F. & SCHUBERT G. (2012): Projekt NA-72 / Thermalp-NÖ. Die Nutzbarmachung geothermischer Grundlagenforschung für das Land Niederösterreich (Thermalwassermodell Hochscholle südliches Wiener Becken). – Endbericht im Auftrag des Amtes der Niederösterreichischen Landesregierung, 191 S., Geologische Bundesanstalt, Wien.
- GÖTZL, G., BOTTIG, M., HOYER, S., FUCHSLUGER, M. & ROCKENSCHAUB, M. (2015): THERMTEC. Thermisch-tektonische Modellierung orogenetischer Prozesse in den Ostalpen am Beispiel von Modellregionen – Tauernfenster (Brenner, Lungau / Pongau) und Mur-Mürzfurche / südliches Wiener Becken. – Zusammenfassender Endbericht im Auftrag der ÖAW, 163 S., Geologische Bundesanstalt, Wien.
- GÖTZL, G., PFLEIDERER, S., FUCHSLUGER, M., BOTTIG, M. & LIPIARSKI, P. (2016): Projekt SC-27. Pilotstudie "Informationsinitiative Oberflächennahe Geothermie für das Land Salzburg (IIOG-S)". – Endbericht im Auftrag der Salzburger Landesregierung, 66 S., Geologische Bundesanstalt, Wien.
- KESSLER, H., MATHERS, S.J. & SOBISCH, H.G. (2009): The capture and dissemination of integrated 3D geospatial knowledge at the British Geological Survey using GSI3D software and methodology. – Computers & Geosciences, **35**, 1311–1321, Amsterdam.
  - DOI: http://dx.doi.org/10.1016/j.cageo.2008.04.005
- MANDL, G.W. (1998): Geologische Karte der Dachsteinregion 1:50.000. – Geologische Bundesanstalt, Wien.

- MANDL, G.W. & MATURA, A. (1995): Geologische Karte der Republik Österreich 1:50.000, Blatt 127 Schladming. – Geologische Bundesanstalt, Wien.
- MANDL, G.W., VAN HUSEN, D. & LOBITZER, H. (2012): Erläuterungen zu Blatt 96 Bad Ischl. – 215 S., Geologische Bundesanstalt, Wien.
- MANDL, G.W., HEJL, E. & VAN HUSEN, D. (2014): Erläuterungen zu Blatt 127 Schladming. – 191 S., Geologische Bundesanstalt, Wien.
- MAROS, G. (Hrsg.), ALBERT, G., BARCZIKAYNÉ SZEILER, R., FODOR, L., GYALOG, L., JOCHA-EDELÉNYI, E., KERCSMÁR, Z., MAGYARI, Á., MAIGUT, V., NÁDOR, A., OROSZ, L., PALOTÁS, K., SELMECZI, I., UHRIN, A., VIKOR, Z., ATZENHOFER, B., BERKA, R., BOTTIG, M., BRÜSTLE, A., HÖRFARTER, C., SCHUBERT, G., WEILBOLD, J., BARÁTH, I., FORDINÁL, K., KRONOME, B., MAGLAY, J., NAGY, A., JELEN, B., LAPANJE, A., RIFELJ, H., RIŽNAR, I. & TRAJANOVA, M. (2012): Summary Report of geological models, TRANSENER-GY – Transboundary Geothermal Energy Resources of Slovenia, Austria, Hungary and Slovakia, 189 S., Vienna.
- PFLEIDERER, S. & KESSLER, H. (2015): EU-wide survex on 3D modelling activities at Geological Survey Organisation. – EGS Newsletter. http://egsnews.eurogeosurveys.org/?p=269 (abgerufen am: 11.03.2017).
- PFLEIDERER, S. (Hrsg.), GÖTZL, G., BOTTIG, M., BRÜSTLE, A.K., PORPACZY, C., SCHREILECHNER, M., EICHKITZ, C., JUD, M., SACHSENHOFER, R., ZOSSEDER, K., CASPER, S., GOLDBRUNNER, J., KRIEGL, C., KOLMER, C. & DIEPOLDER, G.W. (2016): GeoMol – Geologische Modellierung des österreichischen Molassebeckens und Anwendungen in der Hydrogeologie und Geothermie im Grenzgebiet von Oberösterreich und Bayern. – Abhandlungen der Geologischen Bundesanstalt, **70**, 88 S., Wien.
- SCHÄFFER, G. (1982): Geologische Karte der Republik Österreich 1:50.000, Blatt 96 Bad Ischl. – Geologische Bundesanstalt, Wien.
- SCHEIDLEDER, A., BOROVICZENY, F., GRAF, W., HOFMANN, T., MANDL, G.W., SCHUBERT, G., STICHLER, W., TRIMBORN, P. & KRALIK, M. (2001): Pilotprojekt "Karstwasser Dachstein", Band 2: Karsthydrologie und Kontaminationsrisiko von Quellen. – Archiv für Lagerstättenforschung der Geologischen Bundesanstalt, **21**, 155 S., Wien.
- SCHMID, C., MANDL, G.W. & WESSELY, G. (2003): Thermalwasserbohrung Bad Mitterndorf TH 1. Ein Kalkalpiner Tiefenaufschluss im Steirischen Salzkammergut. – In: WEIDINGER, J.T., LOBITZER, H. & SPITZBART, I. (Hrsg.): Beiträge zur Geologie des Salzkammerguts. – Gmundner Geo-Studien, 2, 255–264, Gmunden (Erkudok-Institut am Kammerhofmuseum).
- VAN DER MEULEN, M.J., DOORNENBAL, J.C., GUNNINK, J.L., STAFLEU, J., SCHOKKER, J., VERNES, R.W., VAN GEER, F.C., VAN GESSEL, S.F., VAN HETEREN, S., VAN LEEUWEN, R.J.W., BAKKER, M.A.J., BOGAARD, P.J.F., BUSSCHERS, F.S., GRIFFIOEN, J., GRUIJTERS, S.H.L.L., KIDEN, P., SCHROOT, B.M., SIMMELINK, H.J., VAN BERKEL, W.O., VAN DER KROGT, R.A.A., WESTERHOFF, W.E. & VAN DAALEN, T.M. (2013): 3D geology in a 2D country: perspectives for geological surveying in the Netherlands. – Netherlands Journal of Geosciences – Geologie en Mijnbouw, **92-4**, 217–241, Den Haag.

# Von der Karstforschung zum vorbeugenden Grundwasserschutz

HARALD WIMMER (1)

# Beispiele Schongebiet Dachstein und Schutzgebiet Katergebirge

An zwei jungen und gleichermaßen prominenten Beispielen wird die Verschränkung von karsthydrologischer Forschung und gesetzlicher Rahmenbedingungen im Bereich des vorbeugenden Grund- und Trinkwasserschutzes auf der Grundlage des Wasserrechtsgesetzes sichtbar gemacht.

Es wird auf unterschiedliche Art und Weise dargestellt, wie Grund- und Trinkwasser im Inneren Salzkammergut dauerhaft gesichert werden konnten und wie, durchaus auch aus der Not von Wasserversorgern heraus, die Rollen von Verwaltung und Wissenschaft angelegt wurden, um dieses Ziel zu erreichen.

# Von den Anfängen der Forschungen zur Verordnung des Schongebietes Dachstein

Von der Fülle an karsthydrologischen Untersuchungen im Dachsteingebiet sind zunächst die Markierungsversuche von ZÖTL (1957), BAUER et al. (1959) sowie BAUER (1960) zu nennen, die schon früh zu einem neuartigen Verständnis des dortigen Grundwassergeschehens geführt haben. Von LOHBERGER (1986) wurde eine Studie der wasserwirtschaftlichen Verhältnisse im oberösterreichischen Gebiet des Dachsteins erarbeitet. Es folgten weitere Untersuchungen von BAUER (1989) und VÖLKL (1989). 1989 weist VÖLKL auf die anthropogenen Beeinträchtigungen des Dachsteingletschers durch Gletscherschilauf hin. Die drei Bundesländer Oberösterreich, Salzburg und Steiermark sowie der Bund setzten sich daraufhin zum Ziel, ein länderübergreifendes Grundwasserschongebiet einzurichten.

Anfang der 1990er Jahre flossen die bisher durchgeführten Arbeiten in ein UBA-Pilotprojekt zur Wassergüte-Erhebung in Karstgebieten (HERLICSKA & LORBEER, 1994) sowie in eine Hydrogeologische Karte der Geologischen Bundesanstalt (MANDL, 1998) ein. Im Rahmen eines Welterbe-Seminars wurden die neuesten geologischen und hydrogeologischen Modelle von MANDL (2005) präsentiert.

Zu erwähnen ist hier auch, dass große Höhlen (Dachstein-Rieseneishöhle, Mammuthöhle, Hirlatzhöhle, Koppenbrüllerhöhle) zum Anlass umfangreicher speläologischer Forschungen, z.B. von TRIMMEL (1993), PAVUZA (2005) und ROTH (2005), genommen wurden, welche über die direkten Beobachtungsmöglichkeiten einen wertvollen Beitrag für das Verständnis der unterirdischen Entwässerungen lieferten. Eine Zusammenfassung der Entwässerungsverhältnisse erfolgte durch SCHUBERT (2005).

Der Umstand, dass mehr als 90 % der vom Dachstein bedeckten Fläche in Oberösterreich grundwasserneubildungs- und auch abflusswirksam ist, veranlasste die Bundesländer Salzburg und Steiermark ihre dem Dachstein zuordenbaren Karstgrundwässer nur noch durch Schutzgebiete zu schützen.

Oberösterreich verfolgte den Schongebietsgedanken ab da alleine.

Nach den Erkenntnissen aus einem oberösterreichischen Förderprojekt für die Wasserversorgung und die Abwasserentsorgung alpiner Objekte und aus der Notwendigkeit eines vergrößerten Flächenschutzes für die Wasserversorgungen der Gemeinden Gosau und Hallstatt wurde der Ruf nach einem regional zusammenhängenden Schutz laut.

# Fachliche Begründung des Schongebietes Dachstein gegenüber Politik und Verwaltung

Die oberösterreichischen Karstgebiete sind von enormer wasserwirtschaftlicher Bedeutung. Das Karstwasser erfährt aber auf seinem unterirdischen Abfluss praktisch kaum eine Filterung. Eine Beeinträchtigung von Karstwasservorkommen kann je nach den herrschenden hydrogeologischen Verhältnissen sowohl innerhalb weniger Stunden, als auch erst Monate nach einer im Einzugsgebiet erfolgten Schadstoffeinbringung eintreten. Deshalb wurden bereits früher

(1) Amt der Oberösterreichischen Landesregierung, Grund- und Trinkwasserwirtschaft, Kärntnerstraße 12, 4021 Linz. harald.wimmer@ooe.gv.at



Abb. 1. Nachgewiesene Fließwege im Karst mit Sporen und Farben aus dem Schongebiet Dachstein und dem Schutzgebiet Katergebirge.

für die Karstwasservorkommen Totes Gebirge, Sarstein-Sandling-Loser und Bad Goisern-Gosau Schongebietsverordnungen erlassen. Verunreinigungen von Karstwasservorkommen können vor allem durch Fäkalien, häusliche, gewerbliche und landwirtschaftliche Abwässer und Abfälle, durch Müllablagerungen sowie durch flüssige Brenn- und Treibstoffe erfolgen. Auch der Schutz der spärlichen Deckschichten ist eine wesentliche Voraussetzung für die Erhaltung eines sauberen Trinkwassers aus Karstgebieten.

Das im Dachsteinmassiv gebildete Grundwasser wird mittels öffentlicher und privater Wasserversorgungsanlagen in den Gemeinden Gosau, Hallstatt und Obertraun zur Trink- und Nutzwasserversorgung genutzt. Es handelt sich bei diesen Gemeinden um Zentren des oberösterreichischen Sommer- und Wintertourismus.

Die öffentliche Wasserversorgung der Gemeinde Gosau erfolgt durch viele Wassergenossenschaften. Die Gemeinde Hallstatt wird aus der großen Waldbach-Ursprungquelle und aus einem Brunnen im Echerntal versorgt.

Im Bereich der Gemeinde Obertraun befinden sich mehrere im öffentlichen Interesse liegende Wasserversorgungsanlagen.

> Abb. 2. Karte für den Entwurf zur Grundwasserschongebietsverordnung Dachstein.

Die Entwässerung des Dachsteinmassivs erfolgt im überwiegenden Teil Richtung Norden. Damit liegen die Hauptwasserwege und alle großen Quellaustritte sowie auch die Talgrundwasseranspeisungen in Oberösterreich (Abb. 1). Die in den anderen Bundesländern gelegenen Einzugsflächen sind für die oberösterreichischen Wasserversorgungsanlagen nur von sehr untergeordneter Bedeutung.

In den steiermärkischen Teileinzugsgebieten sind keine nennenswerten Gefährdungspotenziale erkennbar und auch in den salzburgischen Teileinzugsgebieten sind die Gefährdungspotenziale insgesamt als gering einzustufen.

Mit einem Schongebiet kann ein umfassender Schutz der Versorgung der heimischen Bevölkerung, aber auch der auf eine einwandfreie Trink-



wasserqualität angewiesenen Gäste gewährleistet werden. Die bloße Errichtung von Schutzgebieten ist in dieser verkarsteten Landschaft als unzureichend einzustufen.

Der ständig steigende Nutzungsdruck, damit verbunden eine deutliche Zunahme an Gefahrenpotenzialen und erhöhte Anforderungen an den Schutz von Wasserversorgungsanlagen machten eine Anpassung des Schutzkonzeptes der Wasserversorgungsanlagen im Dachsteinmassiv jedenfalls erforderlich.

Nachdem auch die Gemeinde Obertraun sowie die Österreichischen Bundesforste als annähernd 100 %-Eigentümerin des Dachsteins eingebunden waren, konnte nach Jahren des gegenseitigen Konsultierens die Grundwasserschongebietsverordnung Dachstein des Landes Oberösterreich (LGBL. OÖ, 2014) in Kraft treten (Abb. 2).

In dieser Verordnung sind neben einer parzellenscharfen Abgrenzung bewilligungspflichtige Maßnahmen, Verbote und Meldepflichten verankert. Neben den bekannten Maßnahmen wurde u.a. eine Meldepflicht für Hubschrauberflüge im Dachsteingebiet verankert, da in der Vergangenheit nicht rechtzeitig gemeldete Unfälle bei Treibstofftransporten zu Verunreinigungen des Karstgrundwassers geführt hatten.

# Von einer Quellwasser-Verkeimung zur Bestätigung eines hydrogeologischen Modells im Katergebirge

Die Wasserversorgung der Stadt Bad Ischl gründet sich zum Teil auf ein ergiebiges Karst-Grundwasser-Vorkommen am Fuße der Katrin. Auf der Grundlage eines dichten Trinkwasser-Monitorings durch die Stadt Bad Ischl selbst und umfangreicher hydrogeologischer Bearbeitungen durch WIESER (1985) und BAUMGARTNER (1999, 2002) konnte im Jahr 2003 ein mehrzoniges, die gesamte Westseite des Katergebirges umfassendes Schutzgebiet für die zwei Karstquellen eingerichtet werden (Abb. 3).

Eine im Jahr 2008 erstmals aufgetretene mikrobiologische Verunreinigung zwang die Stadt Bad Ischl zu einer Ursachenforschung.

Nach einer Vielzahl von Erhebungen wurde letztlich von WIMMER (2008) ein kombinierter Farb-Tracerversuch an mehreren Stellen des Katergebirges durchgeführt (Abb. 4). Die Ergebnisse wurden später von LAIMER (2010) publiziert. Aus den erst nach einem Jahr aufgetretenen Farbnachweisen konnten die der Schutzgebietsausweisung zugrunde gelegten Annahmen eines großflächig verbreiteten Mikro-Kluft-Systems (im Gegensatz zu den vorherrschenden Makro-Klüften im Dachstein) direkt bestätigt werden.

Der Verdacht auf eine punktuelle Verunreinigung durch unsachgemäße Abwasserentsorgung konnte erhärtet werden, eine eindeutige kausale Zuordnung war allerdings nicht möglich.

Abb. 3.

Schutzgebiet Katrin für die Trinkwasserversorgung von Bad Ischl, festgelegt nach umfangreichen hydrogeologischen Untersuchungen zum Schutz zweier großer Karstquellen.









Umfangreicher und langwieriger Methodeneinsatz mittels kombiniertem Farbtracerversuch, der zumindest die Plangrundlagen bestätigte.

## Literatur

- BAUER, F. (1960): Sporentriftversuch Gosau 1960. Unveröffentlichter Bericht des Speläologischen Instituts, Wien.
- BAUER, F. (1989): Die unterirdischen Abflussverhältnisse im Dachsteingebiet und ihre Bedeutung für den Karstwasserschutz. – Reports Umweltbundesamt, **28** (UBA-89-28), 73 S., Wien.
- BAUER, F., ZÖTL, J. & MAYR, A. (1959): Neue karsthydrographische Forschungen und ihre Bedeutung für die Wasserwirtschaft und den Quellschutz. – Wasser und Abwasser, **1958**, 280–297, Wien.
- BAUMGARTNER, P. (1999): Quelle Wildenstein und Hauseck-Quelle; Überprüfung und Neuausweisung von Schutzgebieten. – Unveröffentlichtes Gutachten im Auftrag der Stadt Bad Ischl, Traunkirchen.
- BAUMGARTNER, P. (2002): Hydrogeologisch begründeter Schutzgebietsvorschlag mit Schutzgebietsplan. – Unveröffentlichtes Gutachten im Auftrag der Stadt Bad Ischl, Traunkirchen.
- HERLICSKA, H. & LORBEER, G.E. (1994): Pilotprojekt "Karstwasser Dachstein" Band 1: Karstwasserqualität. – Monographien, **41**, 233 S., Umweltbundesamt, Wien.
- LAIMER, J. (2010): Partielle Karstökosystemanalyse als flankierende Schutzmaßnahme in der kommunalen Wasserversorgung (Salzkammergut, Oberösterreich). – Geo-Öko, **31**/3–4, 198–222, Göttingen.
- LGBL. OÖ (2014): LGBI.Nr. 71/2014, Verordnung des Landeshauptmanns von Oberösterreich zum Schutz des Grundwasservorkommens am Dachstein und der Wasserversorgungsanlagen in den Gemeinden Gosau, Hallstatt und Obertraun (Grundwasserschongebietsverordnung Dachstein). Linz. https://www.ris.bka.gv.at/GeltendeFassung.wxe?Abfrage= LrOO&Gesetzesnummer=20000784 (Fassung vom 07.04.2017).
- LOHBERGER, W. (1986): Wasserwirtschaftliche Studien im oberösterreichischen Gebiet des Dachsteins. – Unveröffentlichter Bericht im Auftrag des Amtes der OÖ Landesregierung, Linz.

- MANDL, G. (1998): Geologische Karte der Dachsteinregion 1:50.000. – In: SCHEIDLEDER, A., BOROVICZENY, F., GRAF., W., HOFMANN, T., MANDL, G.W., SCHUBERT, G., STICHLER, W., TRIMBORN, P. & KRALIK, M. (2001): Pilotprojekt "Karstwasser Dachstein", Band 2: Karsthydrologie und Kontaminationsrisiko von Quellen. – Archiv für Lagerstättenforschung, **21** (bzw. Monographien, **108**), Geologischen Bundesanstalt und Umweltbundesamt, 155 S., Wien.
- MANDL, G. (2005): Das steinerne Fundament der Landschaft 250 Millionen Jahre Salzkammergut. – Tagungsbeitrag zum Welterbeseminar 2005, 1–7, Bad Goisern.
- PAVUZA, R. (2005): Welterbe unterirdisch Karst und Höhlen im Salzkammergut. – Tagungsbeitrag zum Welterbeseminar 2005, 15–18, Bad Goisern.
- ROTH, M. (2005): Karst und Höhlen des Dachstein. Unveröffentlichte Diplomarbeit, Univ. Salzburg.
- SCHUBERT, G. (2005): Die Wege des Wassers Vom Niederschlag zur Quelle anhand einiger Beispiele aus dem Salzkammergut. – Tagungsbeitrag zum Welterbeseminar 2005, 19–23, Bad Goisern.
- TRIMMEL, H. (1993): Markierungsversuche und Karsthydrographie des Dachsteinstockes. Eine Würdigung der letzten Arbeiten von Dr. Fridtjof Bauer. – Wissenschaftliche Beihefte zur Zeitschrift "Die Höhle", **42**, 33–44, Wien.
- VÖLKL, G. (1989): Beeinträchtigung von Karstquellen durch den Gletscherschilauf. Auswirkungen des Schibetriebs auf den Schladminger Gletscher im Dachstein Massiv. – Umweltbundesamt Interne Berichte, **205** (UBA-IB-205), 13 S., Wien.
- WIESER, F. (1985): Geologisches Gutachten WVABadlschl. Schutzgebietsvorschlag Hauseck und Wildensteinquelle. – Unveröffentlichtes Gutachten im Auftrag der Stadt Bad Ischl, Linz.
- WIMMER, H. (2008): Konzeption und Durchführung eines kombinierten Farbtracerversuches im Katergebirge bei Bad Ischl.
  Unveröffentlichter Bericht, Amt der OÖ Landesregierung, Abteilung Grund- und Trinkwasserwirtschaft, Linz.
- ZÖTL, J. (1957): Der Einzugsbereich von Quellen im Karstgebirge. Die Sporentriftversuche Dachstein 1956. – Österreichische Wasserwirtschaft, **9**/7, 77–86, Wien.

# Kohlendioxid in Wasser mit Alkalinität

# Einleitung

Kohlendioxid, oder kurz CO<sub>2</sub>, ist eine gasförmige Verbindung, der man im täglichen Leben oft begegnet. Das reicht von erfrischendem Sodawasser oder CO<sub>2</sub>-Bädern im Wellnessbereich über die – leider oft – in den Medien zu lesenden Gärgasunfällen bis zum Verursacher für die derzeit stattfindende Klimaerwärmung. Überall spielt das Kohlendioxid eine Hauptrolle. Zum Verständnis, warum Kohlendioxid bei all diesen Vorgängen als einer der Hauptakteure in Aktion tritt, müssen die chemischen Gleichgewichte des Kohlendioxids betrachtet werden. Insgesamt sind es nur wenige Gleichgewichte, die berücksichtigt werden müssen, die jedoch voneinander abhängig sind.

Kohlendioxid kommt in der Atmosphäre zu 0,03 Vol. % frei vor. Auf Grund der Wechselwirkung zwischen der Atmosphäre mit der Hydrosphäre findet man Kohlendioxid in Form von Kohlensäure und deren Salze auch im Wasser. Nahezu der gesamte Kohlenstoff der Erde ist in den großen carbonathaltigen Gebirgen der Erdkruste (z.B.: Dolomiten, Kalkalpen, ...) gebunden. Diese sind in früheren geologischen Zeiten aus Schalenund Krustentieren entstanden. Das erklärt auch die große Bedeutung der Carbonate in der Geologie der Erde. Die hauptsächlich vorkommenden Erdalkalicarbonate besitzen die spezielle chemische Eigenschaft, dass sie sich durch den Kohlendioxidanteil der Atmosphäre und Wasser reversibel in Hydrogencarbonate verwandeln und somit in eine lösliche Form übergeführt werden können. Auf Grund dieser Eigenschaften der Erdalkalicarbonate wird die gesamte Hydrochemie des in Carbonatgesteinen vorkommenden Wassers durch das Zusammenspiel von Lösung und Ausfällung wesentlich beherrscht. Eine entscheidende Rolle spielen dabei die chemischen Gleichgewichte der Kohlensäure und deren Salze in Wasser mit dem Kohlendioxid der Atmosphäre. Ebenso sind die Gleichgewichte zwischen Kohlendioxid und Wasser in allen Oberflächengewässern der Erde von großer Bedeutung. Durch das theoretische Verständnis dieser chemischen Gleichgewichte können daher die Zusammenhänge zwischen

# GERHARD HOBIGER (1)

CO<sub>2</sub>-Gehalt der Luft, Niederschlag, Verkarstung, Lösungsinhaltsstoffen im gespeicherten Wasser (Trinkwasserressourcen), Carbonathärte der Wässer sowie die Aufnahmefähigkeit des Kohlendioxids in den großen Ozeanen der Erde interpretiert bzw. abgeschätzt werden.

Neben den anorganischen Vorkommen spielt der Kohlenstoff die wichtigste Rolle in der organischen Materie. Ohne Kohlenstoff ist ein Leben im herkömmlichen Sinn unmöglich. In sämtlichen biochemischen Reaktionen sind Kohlenstoffverbindungen mitbeteiligt. Wird daher organische Materie oxidativ abgebaut, so entsteht neben anderen Endprodukten auch Kohlendioxid, das wieder über die Fotosynthese zum Aufbau von organischen Molekülen in der Natur verwendet wird. Insgesamt existiert daher ein natürlicher biogener Kohlenstoffkreislauf, der organische Moleküle auf- bzw. abbaut. Dabei spielt das Kohlendioxid eine zentrale Rolle. Bei diesen chemischen Reaktionen wird neben dem Stoffumsatz immer auch Energie umgesetzt, was sowohl in der gesamten Biosphäre als auch in der Technik ausgenutzt wird. In der Technik nutzt man die dabei freiwerdende Energie, die bei der Verbrennung von organischen Verbindungen entsteht. Derzeit werden aber größtenteils nicht erneuerbare fossile Brennstoffe zur Energieerzeugung verwendet, was zu einem zusätzlichen Eintrag an Kohlendioxid in die Atmosphäre führt. Aufgrund des nun im Kreislauf befindlichen größeren Anteils an Kohlendioxid, kann in kurzer Zeit der Überschuss nicht mehr in den biogenen Stoffwechsel zurückgeführt werden, sodass sich Kohlendioxid in der Atmosphäre anreichert. Da Kohlendioxid ein Treibhausgas ist, wird diese Erhöhung des Kohlendioxidanteils der Luft als ein Mitverursacher für die globale Klimaerwärmung angesehen. Bedingt durch die chemische Wechselwirkung zwischen Hydrosphäre und Atmosphäre erfolgt dadurch auch eine Anreicherung von Kohlendioxid und somit auch Kohlensäure und deren Salze in der gesamten Hydrosphäre. Daher ist es auch von diesem Gesichtspunkt aus wichtig, die theoretischen Zusammenhänge zwischen der Konzentration des Kohlendioxids in der Atmosphäre und den Verbindungen der Kohlensäure in der Hydrosphäre zu kennen, um bessere Prognosen für die Auswirkungen der Klimaerwärmung und eventuelle Rückkopplungsmechanismen geben zu können Diese allgemeinen Zusammenhänge haben große Bedeutung in der Umweltchemie und Umweltgeologie.

# Die Chemie von Kohlendioxid in Wasser und die Berechnung der chemischen Gleichgewichte

Löst sich Kohlendioxid in Wasser mit Alkalinität, bildet es die zweibasige Kohlensäure, die in zwei Stufen dissoziiert. Vom chemischen Gesichtspunkt aus gesehen sind folgende einfache chemische Gleichgewichte zu berücksichtigen und können mit einfachen mathematischen Modellen beschrieben werden.

1. Lösung des Kohlendioxids in Wasser:

$$(CO_2)_g + (H_2O)_{fl} \leftrightarrow H_2CO_3$$

2. 1. Dissoziationsstufe:

$$H_2CO_3 \leftrightarrow H^+ + HCO_3^-$$

- 3. 2. Dissoziationsstufe:  $HCO_3^- \leftrightarrow H^+ + CO_3^{2-}$
- 4. Eigendissoziation des Wassers:

$$H_2O \leftrightarrow H^+ + OH^-$$

Um diese Gleichgewichte zu berechnen, müssen folgende mathematischen Gleichungen berücksichtigt werden:

1. Henry'sche Gesetz:

$$[H_2CO_3] = K_H p_{CO_2}$$

2. 1. Dissoziationskonstante:

$$\frac{[H^+][HCO_3^-]}{[H_2CO_3]} = K_1$$

3. 2. Dissoziationskonstante:

$$\frac{[H^+][CO_3^{2-}]}{[HCO_3^-]} = K_2$$

$$[Alk] = [HCO_3^-] + 2[CO_3^{2-}] + \frac{K_W}{[H^+]} - [H^+]$$

Daraus ergibt sich, dass das allgemeine System zwei Freiheitsgrade besitzt. In weiterer Folge ergeben sich zunächst 16 Systeme mit jeweils drei voneinander unabhängigen Variablen, wobei jeweils zwei bekannt sein müssen (zwei Freiheitsgrade), um die dritte zu berechnen. Aus diesen 16 Systemen folgen 48 mathematische Beziehungen, mit denen das gesamte chemische System beschrieben werden kann. Es ist daher möglich, mit nur zwei bekannten Variablen das gesamte Gleichgewichtssystem zwischen Kohlendioxid und Wasser mit Alkalinität exakt zu berechnen. Exakt bedeutet, dass von allen beteiligten chemischen Gleichgewichten sämtliche Bestimmungsgleichungen ohne Näherungen mitberücksichtigt werden.

## Wichtige 3D-Darstellungen

In der Hydrogeologie und auch in der Hydrochemie ist es oft wichtig, den Partialdruck des Kohlendioxids in einem Wasser zu kennen. Dieser lässt sich mit folgender Gleichung aus den leicht zu bestimmenden Parametern der Alkalinität und des pH-Wertes des zu untersuchenden Wassers berechnen:

$$p_{CO_2} = \frac{[H^+]^3 + [Alk][H^+]^2 - K_w[H^+]}{K_1 K_H[H^+] + 2K_1 K_2 K_H} = \frac{[H^+]([H^+]^2 + [Alk][H^+] - K_w)}{K_1 K_H([H^+] + 2K_2)}$$

Die zugehörige 3D-Fläche zeigt folgende Grafik (Abb. 1):



Abb. 1. Abhängigkeit des Partialdruckes des Kohlendioxids von der Alkalinität und des pH-Wertes.

Hobiger

Analog lässt sich auch die Hydrogencarbonatkonzentration aus der Alkalinität und dem pH-Wert eines Wassers berechnen:

$$[HCO_{3}^{-}] = \frac{[H^{+}]^{2} + [H^{+}][Alk] - K_{W}}{[H^{+}] + 2K_{2}} = \frac{[H^{+}] + [Alk] - \frac{K_{W}}{[H^{+}]}}{1 + \frac{2K_{2}}{[H^{+}]}}$$

Abbildung 2 zeigt die entsprechende 3D-Fläche:

0,012 0,01 (I/Iom) 0,008 0,006 [HCO<sub>3</sub>] 0,004 0,002 0 -0,002 0.00 5 6 [Alk] (mol/l) 7 0.002 8 9 pH-Wert 10 0 11 12

#### Abb. 2.

Abhängigkeit der Hydrogencarbonatkonzentration vom pH-Wert und der Alkalinität.

Eine analoge Fläche lässt sich für die Carbonatkonzentration konstruieren (Abb. 3):



#### Abb. 3.

Abhängigkeit der Carbonatkonzentration von der Alkalinität und dem pH-Wert.

Die entsprechende mathematische Gleichung lautet:

$$[CO_3^{2-}] = \frac{[H^+]^2 K_2 + K_2[Alk][H^+] - K_2 K_W}{[H^+]^2 + 2[H^+]K_2}$$

Ebenso wichtig sind die mathematischen Beziehungen zwischen der Hydrogencarbonatkonzentration bzw. der Carbonatkonzentration vom Partialdruck des Kohlendioxids und dem pH-Wert des Wassers.

Es ergeben sich folgende 3D-Flächen (Abb. 4):



Abb. 4.

Abhängigkeit des Logarithmus der Konzentration an Hydrogencarbonat vom Logarithmus des Partialdrucks von Kohlendioxid und des pH-Wertes.

Die mathematische Gleichung dazu lautet:

$$\lg[HCO_{3}^{-}] = \lg K_{H} + \lg K_{1} + \lg p_{CO_{2}} + pH$$

Die entsprechende 3D-Fläche für die Carbonatkonzentration sieht wie folgt aus (Abb. 5):



Abb. 5.

Abhängigkeit des Logarithmus der Konzentration an Carbonat vom Logarithmus des Partialdrucks des Kohlendioxids und des pH-Wertes.

Die zugehörige mathematische Gleichung lautet:

$$\lg[CO_3^{2-}] = \lg K_H + \lg K_1 + \lg K_2 + \lg p_{CO_2} + 2pH$$

Da unter atmosphärischen Bedingungen der Partialdruck konstant ist, sind die Konzentrationen an Hydrogencarbonat und Carbonat direkt proportional dem pH-Wert. In der Grafik entspricht dies dem Schnitt bei einem bestimmten Partialdruck. Abbildung 6 zeigt dies für den Partialdruck des Kohlendioxids in der Atmosphäre:



Abb. 6.

Vergleich der Schnittlinien, der Abbildungen 4 und 5 bei dem derzeitigen Partialdruck des Kohlendioxids der Atmosphäre.

Diese Grafik findet sich in jedem Lehrbuch der Hydrochemie.

Interessant ist die mathematische Gleichung zur Berechnung des pH-Wertes aus der Alkalinität und der Carbonatkonzentration:

$$[H^+]_{1,2} = \frac{1}{2([CO_3^{2-}] - K_2)} \left( K_2([Alk] - 2[CO_3^{2-}]) \pm \sqrt{K_2^2(2[CO_3^{2-}] - [Alk])^2 - 4K_2K_W[CO_3^{2-}] + 4K_2^2K_W} \right)$$

Dies ist eine quadratische Gleichung mit zwei Lösungen, die als 3D-Grafiken darstellbar sind.

Die positive Wurzel ergibt tiefere pH-Werte als die negative Wurzel. Bei einer näheren Betrachtung zeigt sich, dass die positive Wurzel eine Hydrogencarbonatlösung (Abb. 7) und die negative Wurzel eine Carbonatlösung beschreibt (Abb. 8):





Abb. 8. Abhängigkeit des pH-Wertes von der Carbonatkonzentration und der Alkalinität (negative Wurzel).

# Zusammenfassung

Das chemische System Kohlendioxid in Wasser mit Alkalinität kann mit einfachen mathematischen Gleichungen vollständig beschrieben werden. Mit Hilfe der Kombinatorik und der Chemie ergeben sich zunächst 16 Gleichungssysteme mit jeweils drei unabhängigen Variablen. Daraus leiten sich 48 explizite Gleichungen mit zwei Freiheitsgraden ab. Zwei Freiheitgrade bedeutet, dass bei Vorgabe von zwei voneinander unabhängigen Variablen das gesamte System berechnet und somit

> alle 48 Gleichungen als 3D-Flächen grafisch dargestellt werden können. Sämtliche expliziten Gleichungen bil-

den zusammen ein in sich geschlossenes mathematisches System. Der maximale Grad der Gleichungen beträgt 3.

Das gesamte Abstract ist ein Auszug aus dem im Jahr 2015 im Springer Verlag erschienenen Buch "Kohlendioxid in Wasser mit Alkalinität – Berechnung und grafische Darstellung der chemischen Gleichgewichte" (HOBIGER, 2015).

## Literatur

HOBIGER, G. (2015): Kohlendioxid in Wasser mit Alkalinität. Berechnung und grafische Darstellung der chemischen Gleichgewichte. – 142 S., Berlin–Heidelberg (Springer). DOI: https://dx.doi.org/10.1007/978-3-662-45466-4

Abb. 7. Abhängigkeit des pH-Wertes von der Carbonatkonzentration und der Alkalinität (positive Wurzel).

# Der Einsatz aerogeophysikalischer und geoelektrischer Messungen zur Grundwasser- und Rohstoffexploration

Alexander Römer (1), Gerhard Bieber (1), Andreas Ahl (1), Robert Supper (1) & Klaus Motschka (1)

# Einleitung

Mit der Energiekrise 1973 und dem damit verbundenen Streben nach autarker Energie- und Rohstoffversorgung wurde in Österreich ein komplexes, bundesweites Suchprogramm nach mineralischen Rohstoffen erarbeitet, das sowohl Geochemie als auch ein aeromagnetisches Vermessungsprogramm umfasste. Im Sommer 1977 wurde gemeinsam mit der Bundesrepublik Deutschland, welche an die Republik Österreich herangetreten war, Südbayern und Westösterreich von der Fa. Hunting Geology and Geophysics Ltd. beflogen. Die aeromagnetische Vermessung Ostösterreichs durch eigenes Personal und eigene Geräte in Zusammenarbeit mit dem Bundesamt für Eich- und Vermessungswesen (BEV) wurde im Sommer 1978 begonnen und im Jahr 1982 abgeschlossen. Ebenfalls 1978 wurde ein Verwaltungsübereinkommen zwischen Wissenschaftsministerium und Wirtschaftsministerium als Sitz der Bergbaubehörde (zur Zeit in einem Ministerium vereint) "in Anbetracht der ungünstigen Versorgungsstruktur Österreichs mit mineralischen Roh- und Grundstoffen und im Hinblick auf die potentiellen Möglichkeiten des Vorhandenseins entsprechender Lagerstätten" abgeschlossen, um "Voraussetzungen für eine Verbesserung der inländischen Aufbringung an Roh- und Grundstoffen zu schaffen". Dafür wurden und werden Mittel zum Vollzug des Lagerstättengesetztes (VLG, 1947: "Der Geologischen Bundesanstalt obliegt im Interesse der einheimischen Wirtschaft in Zusammenarbeit mit der Bergbehörde die Durchforschung des Bundesgebietes nach nutzbaren Lagerstätten und die Sammlung und Bearbeitung der Ergebnisse dieser Untersuchungen.", BGBL. Nr. 246/1947: §1) zur Verfügung gestellt. Noch vor Abschluss der überregionalen aeromagnetischen Vermessung wurde eine Weiterführung der Aerogeophysik auf regionaler Ebene erörtert. In einem Pilotprojekt zwischen der Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (BGR) in Hannover und der Geologischen Bundesanstalt (GBA)

in Wien konnte gezeigt werden, dass entsprechende Messungen vom Hubschrauber aus sehr zielführend sind. In zwei Testgebieten (Wörgl, St. Johann/Tirol) kamen elektromagnetische, magnetische und radiometrische Messungen zum Einsatz. Nach der Klärung der Bereitstellung eines Hubschraubers durch das Österreichische Bundesheer wurde 1982 unter der Leitung von Prof. Dr. Wolfgang Seiberl (1941–2016) mit den ersten Befliegungen im Dunkelsteinerwald und Ennstal begonnen. Ohne den durch das Bundesheer zur Verfügung gestellten Hubschrauber wäre das aerogeophysikalische Messprogramm in Österreich nur sehr schwer zu verwirklichen gewesen, da der bei weitem größte Kostenfaktor in der Aerogeophysik durch das Fluggerät verursacht wird. Schon ab dem Ende der 1980er Jahre hat sich das Anwendungsspektrum der Aerogeophysik laufend von reinen Rohstoffprojekten zu Forschungsvorhaben mit hydrogeologischen Inhalten (z.B. Untersuchung junger Beckenstrukturen) und Projekte zur Untersuchung geogener (Massenbewegungen) und anthropogener Risikofaktoren (Strahlenschutzanwendungen) weiterentwickelt. Projekte im Ausland wurden bereits ab 1988-1990 (Bauxitexploration in Westungarn) durchgeführt und stellen bis heute einen Teil der Aktivitäten der FA Geophysik dar (Donaudelta Rumänien, Vulkangebiete Italien, Mexiko/Yucatán, Republik Korea).

In den 35 Jahren seit Bestehen der Aerogeophysik wurde das Messsystem technisch immer weiterentwickelt. So wurden die Positions- und Höhenbestimmungen (differential GPS für Hubschrauber und Messsonde, Laserhöhenmesser mit Mehrfachreflexionen, Neigungs- und Beschleunigungsmesser etc.), als auch die Messplattform (Weiterentwicklung des elektromagnetischen Messsystems mit mehreren Frequenzen, neuer Magnetiksensor etc.) adaptiert und auch weitere Messsysteme (z.B. Bodenfeuchtesonde) in das System integriert.

Im Bereich der Bodengeophysik wurde schon zu Beginn der 1990er Jahre ein damals neu ent-


wickeltes geoelektrisches Multielektrodensystem mit 100 Elektroden angeschafft. Dieses Messverfahren bildet seitdem den Schwerpunkt der bodengeophysikalischen Messungen der FA Geophysik der GBA. Zusätzlich wird seit 2001 an der FA Geophysik ein eigenes Multielektroden Geoelektriksystem (GEOMON4D) entwickelt, welches sowohl bei "klassischen" Profilmessungen, als auch im Bereich des geoelektrischen Monitorings zum Einsatz kommt. Abbildung 1 zeigt einen Überblick über die seit Anfang der 1980er bzw. 1990er Jahre durchgeführten Messungen im Bereich der Aero- und Bodengeophysik. Derzeit beinhaltet die Metadatenbank (GEOPHYSIS) 118 Einträge für die Aerogeophysik und 1.200 Eingaben und Lagen für die Bodengeophysik (ca. 1.200 geoelektrische Profile).

Anhand ausgewählter Ergebnisse von drei Fallbeispielen soll ein Ausschnitt von aero- und bodengeophysikalischen rohstoff- und hydrogeologisch relevanten Projekten gegeben werden. Das erste Beispiel ist das Messgebiet "Südliches Waldviertel" mit einem umfassenden Rohstoffbezug aus dem Jahr 1987 (ALBER, 1987), ein weiteres Projekt, welches einen hydrogeologischen Bezug aufweist, stellt das Messgebiet Leithagebirge (AHL et al., 2012; SCHUBERT et al., 2013) dar. Abschlie-

Abb. 2.

Lage des Untersuchungsgebietes "Südliches Waldviertel" (aus ALBER, 1987). ßend werden ausgewählte Beispiele aus dem aktuellen Messgebiet Wörgl (SLAPANSKY et al., 2017) präsentiert.

#### Messgebiet "Südliches Waldviertel"

(Alber, 1987)

Das Ziel des Projektes war es, die zahlreichen Informationen über Rohstoffvorkommen, Geologie, Geophysik und Geochemie zusammenzutragen und einen Stand des Mineralrohstoffpotenzials zu erheben in Hinblick auf die Verteilung der Rohstoffe und die Konflikte, die sich durch deren Sicherung und Gewinnung und die Folgenutzung der Gewinnungsstätten ergeben. Außerdem sollten noch für die Auswertung der systematischen Geochemie und Hubschraubergeophysik zusätzlich Unterlagen beigebracht und eventuell neue Möglichkeiten aufgezeigt werden, um solcherart eine höhere Aussagekraft für planerische Maßnahmen zu erreichen. Abbildung 2 zeigt die Lage





des Untersuchungsgebietes. 1982 bzw. 1983 wurden die Gebiete Dunkelsteinerwald, Rossatz und die Kremser Bucht per Hubschrauber aerogeophysikalisch vermessen: Auswahlkriterien waren das Auftreten von Grafiten in der Bunten Serie und Anomalien der Aeromagnetik im Dunkelsteinerwald und in der Kremser Bucht. Außerdem wurden im Bereich der Bunten Serie auf ÖK-Blatt 36 (Ottenschlag) Grafitvorkommen mittels aktiver und passiver elektrischer Methoden (IP-, SP- und Widerstandsmessungen) untersucht. In Abbildung 3 verdeutlichen die Anomalien W4 bis W9 die durch Rehberger Amphibolite beherrschte Zone innerhalb der Paragneise nordwestlich von Langenlois; die Paragesteine sind,



Abb. 4. SP-Profil (aus ALBER, 1987).



wie erwähnt, durch Grafitzüge gekennzeichnet (Grafitschiefer, Grafitquarzite). Die Minima W5, W10 und W20 koinzidieren mit magnetischen Anomalien (Serpentinite, Gabbroamphibolite vom Typ "Rehberg"). Die guten Leitfähigkeiten gewisser Abschnitte der Rehberger Amphibolite lassen eine genauere Untersuchung dieser im Hinblick auf Magnetkiesführung und Buntmetallvorkommen (disseminated copper) als empfehlenswert erscheinen. Mit den Grafitguarziten in den Paragneisen westlich und nördlich von Lengenfeld verknüpft sind elektromagnetische und z.T. magnetische Anomalien, die höchstwahrscheinlich an seichtliegende (nicht aufgeschlossene) Amphibolitkörper mit (serpentinisierten) Ultrabasiten gebunden sind. Abbildung 4 zeigt das Ergebnis des Boden-SP-Profils EK 3: Der Maximalwert (555 mV) im Nordwest-Teil des Profils tritt über Marmoreinschaltungen im Quarzit und Paragneis auf. Der starke negative Gradient (Abfall der SP-Werte von 500 mV auf -250 mV) weist auf mächtigere dichte Grafite zwischen Marmor und Paragneis hin. Dieser Abschnitt ist für eine weitere Grafitprospektion besonders ins Auge zu fassen (ALBER, 1987).

#### Messgebiet Leithagebirge

(AHL et al., 2012; SCHUBERT et al., 2013)

Mit der hubschrauber- und bodengeophysikalischen Vermessung im Bereich Leithagebirge (ÖK-Blätter 77, 78) sollten in erster Linie geowissenschaftliche Beiträge zur Hydrogeologie sowie zur Unterstützung der regionalen geologischen Kartierung erstellt werden. Die Befliegung (Abb. 5) erfolgte in Form paralleler Fluglinien mit



Abb. 5. Lage des Messgebiets Leithagebirge.

einem geplanten Sollabstand von 200 m. Das besondere Interesse lag in der Beurteilung der neogenen Beckenablagerungen hinsichtlich wasserhöffiger, verkarstungsfähiger (Karbonatgesteine) und grobklastischer (Kies, Schotter) Formationen in diesem Bereich. Klüftige Karbonatgesteine mit Lösungsporosität sind obertags auskartiert, ihre unterirdische Lagerung und Verbreitung war aber bisher, abgesehen von Bohraufschlüssen und seismischen Profilen, noch zu wenig bekannt. Sie liegen idealer Weise unter geringdurchlässigen bis dichten Hangendsedimenten mit gespanntem bis artesischem hydrostatischem Druck. Bodengeoelektrische Untersuchungen haben gezeigt, dass sich verkarstungsfähige Karbonatgesteine und grobklastische Sedimente (Kiese) in ihrem Widerstandsbild deutlich von den übrigen feinklastischen neogenen Sedimenten unterscheiden und damit günstige Bedingungen für den Einsatz der Aerogeophysik vorliegen. Je nach lithologischer Ausbildung war es auch möglich, das Grundgebirge (Kristallin) durch bodengeoelektrische Messungen bis zu einer maximalen Tiefe von 200 m unter GOK zu erfassen. Diesbezüglich war von den aerogeophysikalischen Messungen zu erwarten, dass einerseits die unterirdische Geometrie der Grundgebirgsaufragung bis zu einer maximalen Tiefe von 80 m unter GOK zu verfolgen ist, andererseits anhand des Widerstandsbildes auch auf verkarstungsfähige Formationen und/oder gröberklastische Serien (Kiese) geschlossen werden kann. Ziel war es, mit Hilfe dieser geophysikalischen Methoden einen Beitrag zur Beurteilung einer allfälligen Erschließbarkeit verkarstungsfähiger Formationen im Untergrund zu leisten. Ein Beispiel für die geologisch/lithologische Interpretation der AEM Daten zeigt Abbildung 6. Im Abschnitt südwestlich von Donnerskirchen liegen hinsichtlich erschließbarer Grundwasserressourcen interessantere Untergrundverhältnisse vor. Ein weiterer Profilschnitt, abgeleitet aus den aeroelektromagnetischen Ergebnissen, gibt eine Vorstellung von den hier möglichen Untergrundverhältnissen (Abb. 7). Die eingetragenen Störungen ergeben sich aus dem Verschnitt der Isohypsen

Abb. 6.

Inversionsergebnisse AEM – Profilschnitt bei Donnerskirchen (aus SCHUBERT et. al, 2013).



mit der Oberflächengeologie aus der Geologischen Karte (Blatt 78 Rust, HERMANN et al., 1993). Ein durch Donnerskirchen NE-SW verlaufender Bruch (SCHMID, 1968; TOLLMANN, 1953) lässt auf eine Absenkung des Badeniums in diesem Bereich schließen. Der Südwest-Teil des Profils sowie die geoelektrischen Messungen bestätigen diese Annahme. Anhand des Geoelektrikprofils P2 lässt sich die Mächtigkeit der kompakten Leithakalkfazies (Nulliporenkalk, detritäre Leithakalksandsteine) von ~30 m ableiten (dunkelblaue Färbung im geologischen Profil). Darunter sind noch im Übergang zu den feinklastischen, niederohmigen Bereichen (hellblauer Widerstandsbereich im Profil 2 der Geoelektrik) gröberklastische Sedimentabfolgen des unteren Badeniums zu erwarten (grüner Widerstandsbereich im Profil 2). Sehr gut lässt sich der hochohmige Leithakalk (grün bis roter Abschnitt) bis ca. 300 m im Hangenden des Profils verfolgen. Die elektrischen Widerstände betragen im Maximum weit über 10.000 Ωm. Dies spricht für eine z.T. sehr massive Ausbildung des Leithakalks. Die Begrenzung dieser Anomalie korreliert sehr gut mit der in der geologischen Karte eingezeichneten Grenze des (badenischen) Leithakalks gegen Süden (Südosten). Südöstlich schließt das sehr niederohmige (< 50  $\Omega$ m), d.h. schluffig, tonig ausgebildete Pannonium an. Es kann davon ausgegangen werden, dass sich der Leithakalk noch zumindest 50 m unter dem Pannonium gegen Süden fortsetzt. Die Positionierung eines Bohransatzpunktes in diesem Abschnitt wurde empfohlen. Im Rahmen der seit dem Jahr

#### Abb. 7.

Geologisches Profil am Südabhang des Leithagebirges bei Donnerskirchen. Der südöstliche Profilanteil korreliert mit dem Profilschnitt der Geoelektrik (Donnerskirchen P2), siehe Bild links oben (aus SCHUBERT et. al., 2013). 2000 durchgeführten Projekte mit dem Land Burgenland und dem Wasserleitungsverband Nördliches Burgenland wurden an zehn vorgeschlagenen Erkundungsstandorten Bohrungen mit einer summierten Wasserförderrate von etwa 150 l/s abgeteuft.

#### Messgebiet Wörgl

#### (SLAPANSKY et al., 2017)

Mit der hubschraubergeophysikalischen Vermessung im Bereich Wörgl (ÖK-Blätter 90 und 121) sollen in erster Linie geowissenschaftliche Beiträge zur Unterstützung der regionalen geologischen Kartierung erstellt werden. Anhand der Verteilung des elektrischen Widerstandes ist ein Informationsgewinn hinsichtlich des Internaufbaues/Abschätzung der Mächtigkeit pleistozäner Lockersedimente (Eisrandsedimente, Grund und Endmoräne, Vorstoßschotter, fluviatile Ablagerungen) zu erwarten.

Das Untersuchungsgebiet orientiert sich dabei am Verlauf der Täler und umfasst das Sölllandl (Talfurche von Ellmau–Scheffau) bis Going, das Brixental, das Kelchsautal und das Windautal. Es umfasst Anteile der Innsbrucker Quarzphyllitzone, der Grauwackenzone und im Norden die basalen Schichtglieder der Nördlichen Kalkalpen. Die Talbereiche werden von mächtigen, pleistozänen Lockersedimentkörpern eingenommen. Im Brixental finden sich im Bereich von Hopfgarten bis zu 150 m hohe Terrassen mit unterschiedlichen Niveaus, die sich in die Nebentäler Windau- und Kelchsautal fortsetzen.

Ein Beispiel für die geologisch/lithologische Interpretation der AEM-Daten, basierend auf der Geologischen Karte von Salzburg 1:200.000 (PESTAL et al., 2005), der GEOFAST-Karte Neukirchen 1:50.000, Blatt 121 (KREUSS, 2008) und der Dissertation von REITNER (2005), zeigt Abbil-





dung 8. Im AEM-Profilschnitt Hopf 1 heben sich die höherohmigen pleistozänen Lockersedimente (Eisrandsedimente, Vorstoßschotter) vom liegenden, niederohmigen Festgestein der Löhnersbach-Formation ab. Das Geoelektrikprofil P1\_2002 bestätigt diesen Interpretationsansatz. Mit solchen geologisch lithologischen Interpretationen, vor allem hinsichtlich des Internaufbaues der pleistozänen Lockersedimente, können rohstoffrelevante Aussagen für die Abschätzung der Mächtigkeit und der Ausdehnung sowie für die Zusammensetzung dieser Lockersedimente für detaillierte Folgeuntersuchungen getätigt werden.

#### Literatur

- AHL, A., BIEBER, G., MOTSCHKA, K., RÖMER, A., SLAPANSKY, P. & SUPPER, R. (2012): Aerogeophysikalische Vermessung im Bereich Leithagebirge (Bgld.). – Unveröffentlichter Endbericht, ÜLG20/28/35, GBA/Wissenschaftliches Archiv, Nr. A 16903-R, 150 S., Wien.
- ALBER, J. (1987): Rohstoffpotential, südliches Waldviertel Dunkelsteinerwald. – Berichte der Geologischen Bundesanstalt, **3**, 186 S., Wien.
- HERMANN, P., PASCHER, G.A. & PISTOTNIK, J. (1993): Geologische Karte der Republik Österreich 1:50.000, Blatt 78 Rust. – Geologische Bundesanstalt, Wien.
- KREUSS, O. (2008): Geofast Zusammenstellung ausgewählter Archivunterlagen der GBA 1:50.000 – ÖK 121 Neukirchen am Großvenediger (Stand 2008). – 1 Blatt, Geologische Bundesanstalt, Wien.
- PESTAL, G., HEJL, E., BRAUNSTINGL, R., EGGER, H., HUSEN VAN, D., LINNER, M., MANDL, G.W., MOSER, M., REITNER, J., RUPP, C.
  & SCHUSTER, R. (2005): Geologische Karte von Salzburg 1:200.000. – 1 Blatt, Geologische Bundesanstalt, Wien.
- REITNER, J.M. (2005): Quartärgeologie und Landschaftsentwicklung im Raum Kitzbühel–St. Johann i. T.–Hopfgarten (Nordtirol) vom Riss bis in das Würm-Spätglazial (MIS 6-2). – Dissertation, Fakultät für Geowissenschaften, Geographie und Astronomie der Universität Wien, XIII + 190 S. + Anhang, Wien.

#### Abb. 8.

Inversionsergebnis AEM-Profilschnitt Hopf 1 mit geologischer Interpretation (aus SLAPANSKY et al., 2017).

- SCHMID, H. (1968): Das Jungtertiär an der SE-Seite des Leithagebirges zwischen Eisenstadt und Breitenbrunn (Burgenland). Wissenschaftliche Arbeiten aus dem Burgenland,
  41, 74 S., Eisenstadt.
- SCHUBERT, G., HÖRFARTER, C., RÖMER, A., BIEBER, G., AHL, A. & MOTSCHKA, K. (2013): Endbericht BA20 Phase5/2012: Karstwasserführende Gesteine im Burgenland. – Unveröffentlichter Bericht, 158 S., Wien.
- SLAPANSKY, P., MOTSCHKA, K., BIEBER, G., AHL, A., WINKLER, E., SCHATTAUER, I. & PAPP, E. (2017): Aerogeophysikalische Vermessung im Bereich Wörgl. – Unveröffentlichter Endbericht, ÜLG20/28/35, Wien.
- TOLLMANN, A. (1953): Das Neogen am Südwestrand des Leithagebirges zwischen Eisenstadt und Hornstein. – Dissertation, Philosophische Fakultät der Universität Wien, 225 S., Wien.
- BGBL. NR. 246/1947: Bundesgesetz vom 22. Oktober 1947 über die Durchforschung des Bundesgebietes nach nutzbaren Mineralien (Lagerstättengesetz).Gesamte Rechtsvorschrift für Lagerstättengesetz:

https://www.ris.bka.gv.at/GeltendeFassung.wxe?Abfrage=-Bundesnormen&Gesetzesnummer=10006202 (Fassung vom 29.03.2017).

# Naturgefahren in Oberösterreich und die Geschichte der Kooperation WLV-GBA

#### Geschichte

Die 1849 gegründete k. k. Geologische Reichsanstalt (später Geologische Bundesanstalt, GBA) und die 1884 gegründete k. k. Forsttechnische Abteilung für Wildbachverbauung (später Wildbach- und Lawinenverbauung, WLV) hatten seit Beginn ihrer Existenz eine intensive Zusammenarbeit bzw. Interaktion über Personen, welche zeitweilig zur einen oder anderen Institution gehörten oder für diese arbeiteten. Besonders hervorzuheben sind insbesondere zwei Namen, die nachhaltig und tiefgreifend die Art der Zusammenarbeit und überhaupt die Betrachtung geologischer Vorgänge im Bereich des Schutzes vor Naturgefahren prägten: Gustav Adolf Koch und Josef Stiny.

#### Gustav Adolf Koch (1846–1921)

Der spätere Professor für Geologie an der Universität für Bodenkultur war 1874 bis 1877 als Volontär der k. k. Geologischen Reichsanstalt an den Aufnahmen für das Blatt der Silvretta-Gruppe sowie an der geologischen Trassierungsarbeit für die Arlbergbahn beteiligt. Kochs späteres Spezialgebiet war aber der Schlier und die in ihm zu findenden Erdgas- und Erdölvorkommen, insbesondere aber die Erschließung von jod-und bromhaltigen Mineralwasservorkommen in diesem (GEYER, 1921).

1891 erteilte das k. k. Ackerbauministerium der Sektion Oberösterreich der WLV die Weisung "sich der Vorgänge im Gschliefgraben bei Gmunden anzunehmen". Die Sektion Oberösterreich beauftragte Professor Dr. Gustav Adolf Koch mit den geologischen Erhebungen. Sein 1892 fertiggestelltes Gutachten war derart umfassend und akkurat, dass es bis 1976 als Basis aller Projektierungen und der Gefahrenzonenplanung diente (FORSTTECHNISCHER DIENST FÜR WILDBACH- UND LAWINENVERBAUUNG, 1976).

1898 beteiligte er sich mit einem kleinen Beitrag über "Die geologischen Verhältnisse der Umgebung von Gmunden" an dem Buch "Geschichte der Stadt Gmunden" von Ferdinand Krackowitzer (Косн, 1898). In diesem Kapitel ist ebenfalls dem WOLFGANG GASPERL (1)

Gschliefgraben ein langer Absatz gewidmet und Koch beurteilt die stratigrafischen Verhältnisse in und um den Gschliefgraben angesichts der damals spärlichen Aufschlüsse bereits ausgesprochen zutreffend und wegweisend für spätere Arbeiten.

1891 war auch das Jahr seiner Habilitierung an der Hochschule für Bodenkultur in Wien (BOKU), wo er ab 1895 als Außerordentlicher- und schließlich ab 1899 als Ordentlicher Professor für Geologie wirkte und so mehrere Generationen an Wildbachverbauern in diesem Fach ausbilden durfte.

#### Josef Stiny (1880-1958)

Der spätere Professor für Geologie an der Technischen Universität Wien (TU) beschritt in seinem Werdegang den umgekehrten Weg wie Gustav Adolf Koch. Nach der Gymnasialzeit, Studium der Forstwirtschaft und Wildbachverbauung an der damaligen Hochschule für Bodenkultur in Wien und ergänzende Studien des Bauingenieurfaches an der Technischen Hochschule in Graz. Anschließend Studium der Geologie und Paläontologie bei Rudolf Hoernes (1850-1912) und Vincenz Hilber (1853–1931) an der Universität Graz, wo er 1909 mit der Arbeit "Die Muren. Versuch einer Monographie mit besonderer Berücksichtigung der Verhältnisse in den Tiroler Alpen" (STINY, 1910) promovierte. Nach kurzer Tätigkeit als Forstingenieur auf den Besitzungen des Fürsten Schwarzenberg in Böhmen trat er in den k. k. Wildbachverbauungsdienst mit Tätigkeitsschwerpunkten in Tirol ein und war von 1911 bis 1915 der Bauleitung für Wildbachverbauung in Bruneck zugeteilt. Während des Ersten Weltkrieges arbeitete Stiny als Landsturmingenieur bei verschiedenen Bauvorhaben, insbesondere der Raabregulierung. Von 1919 bis 1925 hatte er eine Lehrtätigkeit für naturwissenschaftliche Fächer an der Höheren Forstlehranstalt Bruck an der Mur. In dieser Zeit (29. Februar 1924) Habilitation als Privatdozent für Geologie bei Hilber mit der Arbeit "Die Lignite der Umgebung von Feldbach in Steiermark". Vorlesungstätigkeit am Geologischen Institut über geologisches Kartieren und

<sup>(1)</sup> Wildbach- und Lawinenverbauung, Sektion Oberösterreich, Schmidtorstraße 2/II, 4020 Linz. sektion.oberoesterreich@die-wildbach.at

im Wintersemester 1925/1926 über "Die Eiszeit in den Ostalpen". In dieser Zeit (März 1925) hatte Stiny bereits die Berufung als Ordentlicher Professor für Geologie an die Technische Hochschule in Wien erhalten, wo er bis zu seiner vorzeitigen Pensionierung 1943 und darüber hinaus bis 1947 tätig war (GOTTSCHLING, 2008).

Stinys besonderer Verdienst im Zusammenführen der Fachbereiche Wildbach- und Lawinenverbauung und Geologie bestand darin, dass er den trivial zwar bereits bekannten Zusammenhang zwischen Geologie, geologischen Prozessen und den daraus resultierenden Wildbachgefahren wissenschaftlich aufarbeitete. Im Jahr 1931 erscheint das Werk "Die Geologischen Grundlagen der Verbauung der Geschiebeherde in Gewässern" (STINY, 1931). Obwohl bereits Ferdinand von Hochstetter (1829–1884) in seiner Wiener Rektoratsrede im Jahr 1874 den Begriff "Ingenieurgeologie" verwendete, kann man Stiny als eigentlichen Wegbereiter und Lehrer dieses Fachbereiches im 20. Jahrhundert betrachten.

#### Gegenwart

Oberösterreich ist reich an geogenen Naturgefahren, welche im Kalkalpin in Form von Berg-, Felssturz und Steinschlag auftreten, sich in der Flyschzone in ausgedehnten Erdbewegungen bemerkbar machen und auch in der Molassezone und dem angrenzenden Kristallin der Böhmischen Masse und dessen Verwitterungsschwarte in abgeschwächter Form fortsetzen.

Aus den beschriebenen Anfängen hat sich über die Jahrzehnte eine kontinuierliche Zusammenarbeit mit gegenseitigem Nutzen entwickelt, die mit der Hauptabteilung Angewandte Geowissenschaften der GBA ab 2008 besonders intensiviert wurde.

Im Zuge der Aufarbeitung der Ereignisse der Großhangbewegungen im Gschliefgraben wurde durch die GBA sowohl die geoelektrische, als auch die radiologische Durchleuchtung des Bewegungsbereiches und des weiteren Untergrundes übernommen. Ebenso wie im Gschliefgraben konnte bei der Rutschung Höhenberg im Pechgraben in Großraming durch die rasch installierte Zusammenarbeit mit der GBA eine genaue Untergrunderhebung in geophysikalischer Hinsicht durchgeführt werden. Mit dem besonderen Vorteil, dass alle laufenden Maßnahmen an deren Ergebnis angepasst und an den resultierenden Messungen geeicht werden konnten.

Das besondere Augenmerk liegt dabei auf der Entwicklung von Monitoring-Methoden für die verAbb. 1. Mitarbeiter der Geologischen Bundesanstalt mit Günther Moser bei der Bohrkernanalyse.



schiedensten Gefahrengebiete. Dabei werden die modernsten Entwicklungen sowohl im Bereich der Messtechnik als auch der technischen Gegenmaßnahmen miteinbezogen.

Hinsichtlich der geogenen Naturgefahren durch Steinschlag und Felssturz bildete in den letzten Jahren Hallstatt den "Hotspot" für die Kooperation. Sowohl beim Bergsturz am Plassen, als auch bei der Erhebung der Felssturz-Potenziale im Siedlungsraum war die GBA federführend für die WLV tätig. In Wolfsegg am Hausruck ist die mittlerweile letzte und noch laufende gemeinsame Arbeit im Rutschgebiet Unterer Roßmarkt aktuell (Abb. 1).

Wie auch in einigen anderen gemeinsamen Projekten hat die Geologische Bundesanstalt als Leadpartner die Finanzierung in den Rahmen eines EU-Projektes eingebettet.

#### Literatur

- FORSTTECHNISCHER DIENST FÜR WILDBACH- UND LAWINENVER-BAUUNG (1976): Exkursionsführer Gschliefgraben (Stadtgemeinde Gmunden) der Wildbach-und Lawinenverbauung, Gebietsbauleitung Gmunden. – 4 S., Gmunden.
- GEYER, G. (1921): Hofrat Dr. Gustav Adolf Koch. Verhandlungen der Geologischen Staatsanstalt, **1921**/7–8, 97–100, Wien.
- GOTTSCHLING, P. (2008): Bedeutende Wissenschaftler aus Niederösterreich. Josef Stiny. Forstingenieur und Ingenieurgeologe. – Berichte der Geologischen Bundesanstalt, **72**, 30–35, Wien.
- КОСН, G.A. (1898): Die geologischen Verhältnisse der Umgebung von Gmunden. – In: KRACKOWITZER, F.: Geschichte der Stadt Gmunden, Band 1, 26 S., Gmunden.
- STINY, J. (1910): Die Muren. Versuch einer Monographie mit besonderer Berücksichtigung der Verhältnisse in den Tiroler Alpen. – 131 S., Innsbruck (Wagner).
- STINY, J. (1931): Die Geologischen Grundlagen der Verbauung der Geschiebeherde in Gewässern. 122 S., Wien (Springer).

### **Geoelektrisches Monitoring von Naturgefahren**

BIRGIT JOCHUM (1), DAVID OTTOWITZ (1), ALEXANDER RÖMER (1), STEFAN HOYER (1), ROBERT SUPPER (1), STEFAN PFEILER (1) & STEFANIE GRUBER (1)

2002 hat die Geologische Bundesanstalt (GBA) das geoelektrische Monitoringgerät GEOMON4D entwickelt, mit den Anforderungen einer möglichst schnellen Datenakquisition, einem automatischen Datentransfer und der Möglichkeit, das Messgerät aus der Ferne zu warten. Nach dem ersten Einsatz auf einer Rutschung in Vorarlberg (Rindberg, JARITZ et al., 2004) wurde es stetig weiterentwickelt, bis ein neues Monitoringsystem im Rahmen des EU FP7 Projektes SafeLand 2009 am Gschliefgraben aufgebaut wurde. Ab 2010 wurde das Messnetz im Rahmen des FWF-Projektes TEMPEL (Abb. 1) auf weitere Lokationen ausgedehnt. Das Ziel des Monitorings ist die Evaluierung der zeitlichen Änderungen des spezifischen elektrischen Widerstandes als möglichen Indikator für eine Reaktivierung der Hangrutschung. Ein wichtiges Werkzeug dafür ist die 4D-Inversion, die gemeinsam mit Jung-Ho Kim vom Korea Institute of Geoscience and Mineral Resources entwickelt wurde (KIGAM, KIM et al., 2009).

Für das geoelektrische Monitoring ist die Kombination mit anderen Messgeräten, die hydrologische oder bewegungsanzeigende Daten liefern, von hoher Relevanz.

Das anschließend auf dem Monitoringnetzwerk sowie den dadurch generierten Messdaten aufbauende ÖAW-Projekt LAMOND hat zum Ziel, mit den gemessenen Widerstandsänderungen ein hydrologisches Untergrundmodell zu erstellen. Dadurch sollten entscheidende Untergrundprozesse erkannt sowie deren Wechselwirkungen untersucht werden, um die Auswirkungen auf die Hangstabilität bei extremen Niederschlagsereignissen zu berechnen.

Geoelektrisches Monitoring wird an der GBA, neben der Beobachtung von Hangrutschungen, auch zur Messung von Zwischenabflüssen auf künstlich bewässerten Hängen sowie vereinzelt auf Dämmen eingesetzt.

#### Hangrutschungen

Ein gutes Wissen über Struktur, Dynamik, Auslöser, Geschichte und mögliche Größenordnung von Hochrisikohangrutschungen ist eine wichtige Aufgabe, um aktuelle Gefahren zu bewerten und



Abb. 1. Karte aller Hangrutschungsmonitoringgebiete, grün: aktiv; rot: abgeschlossen; blau: geplant. schließlich die Menschen vor einem katastrophalen Ereignis im Voraus zu warnen. Dieses Wissen ist nur durch einen komplexen Ansatz möglich, der aus Untersuchungen durch viele verschiedene interdisziplinäre Methoden und Techniken, eine langjährige kontinuierliche Überwachung von Deformations- und Auslösefaktoren sowie durch die Etablierung von Frühwarnsystemen/ Zentren besteht. Die am häufigsten verwendeten Frühwarnparameter sind Porenwasserdruck und Bewegung. Allerdings hat die jüngste Forschung gezeigt, dass es andere Parameter gibt, die Hinweise auf die bevorstehende Auslösung sogar zeitlich länger im Voraus geben können, bevor eine tatsächliche Verschiebung messbar ist.

Da die meisten Erdrutschereignisse eng mit dem Niederschlag und dem Einfluss von unterirdischem Wasser auf die Hangstabilität (Porenwasserdruck, Änderung des Wasserströmungsregimes, Sättigung) zusammenhängen, ist die zeitliche Änderung der elektrischen Parameter eine vielversprechende Methode zur Überwachung von Erdrutschen. Innerhalb der letzten Jahre sind geoelektrische Multielektrodenmessungen zum erfolgreichsten geophysikalischen Verfahren geworden, um die Untergrundstruktur von Hangrutschungen zu untersuchen.

Exemplarisch werden zwei Messergebnisse von Hangrutschungen (Österreich und Italien) präsentiert (SUPPER et al., 2013).

#### Ampflwang

Das Messgebiet Ampflwang liegt im Hausruck, einem Gebiet, das sehr anfällig für Rutschungen ist. Die Ursache dieser Massenbewegungen ist, dass die im Verband abgerutschten Kiese der Hausruck- bzw. Kobernaußerwald-Formation auf den wasserstauenden Kohletonschichten der Ampflwang-Formation gleiten (RUPP, 2008). Untersucht wurde eine kleine Hangrutschung mit einer Fläche von 0,4 ha, die im März 2010 als Teil einer älteren bekannten, tiefgreifenden Rutschmasse reaktiviert wurde.

Betroffen war ein Wohnhaus mit der dazugehörigen Infrastruktur (Abb. 2). Ein geoelektrisches Monitoring wurde gemeinsam mit zwei auto-



matischen Inklinometern im Dezember 2010 installiert. Es zeigte sich, dass die Rutschung selbst nicht tiefgründig ist (2–3 m unter GOK), und dass die Bewegung vor allem im Winter während kurzer Auftauphasen sehr deutlich mit den Niederschlägen korreliert (Abb. 3).

Alle großen Bewegungsereignisse (Event 1-4 in Abbildung 3) zeigen eine signifikante Abnahme des scheinbaren spezifischen elektrischen Widerstandes. Das Hauptereignis wurde am 13. und 14. Januar 2011 nach einer Schneeschmelze aufgezeichnet, begleitet von sehr starkem Niederschlag. Der scheinbare spezifische elektrische Widerstand verringerte sich in diesem Beispiel fast zwei Tage vor der Beschleunigung des Erdrutsches, höchstwahrscheinlich aufgrund der Infiltration durch die Schneeschmelze. Eine weitere, noch stärkere Abnahme korreliert mit dem Beginn des Niederschlags, der schließlich die Bewegung auslöste. Die Tatsache, dass noch stärkere Niederschlagsereignisse im späten Frühjahr und Sommer 2011 nicht in der Lage waren, eine Bewegung auszulösen, lässt darauf schließen, dass die Vorbefeuchtung des Untergrundes durch die Schneeschmelze der entscheidende Auslöser für diese Hangrutschung war. Aufgrund von Sanierungsmaßnahmen musste dieses Monitoring nach acht Monaten wieder abgebaut werden.

#### Bagnaschino

Die Rutschung Bagnaschino liegt in der Provinz Cuneo im Piemont und richtete zuletzt 1994 einen großen Schaden an der Landesstraße an. Auf Basis der Messungen von mehreren automatischen Inklinometern kann die Rutschung in einen sich schnell bewegenden Rutschhorizont in 9 m Tiefe und eine tieferliegende, über die gesamte Länge des Inklinometers gehende Kriechbewegung unterteilt werden (LOVISOLO, 2011).

Im Oktober 2010 wurde an dieser Lokation das geoelektrische Monitoring aufgebaut. Bei dieser Installation kam erstmals als Energieversorgung eine Kombination aus Brennstoffzelle und Solarpanel zum Einsatz.

Während des geoelektrischen Monitorings kam es zu einer starken Rutschung mit einer Bewegung von 90 mm innerhalb von 70 Stunden. Trotz starker Niederschlagsereignisse gab es während der restlichen Monitoringperiode ein eher unauffälliges Bewegungsverhalten. Die Abbildungen 4 und 5 zeigen Differenzenbilder der 4D-Inversion von zwei verschiedenen Perioden mit gleichem Niederschlag, die jedoch eine unterschiedliche Infiltration des Niederschlages und der damit verbundenen Hangbewegung aufweisen. Abbildung 4 zeigt, dass das oben genannte starke Bewegungsereignis mit einer vorhergehenden





Abb. 5.

Differenzendarstellung der 4D-Inversion von Oktober 2011.

Verringerung des spezifischen elektrischen Widerstandes verbunden ist, was auf eine tiefergehende Wasserinfiltration schließen lässt.

Abbildung 5 zeigt, dass bei einem gleich starken Regenereignis nur eine oberflächliche Anfeuchtung bzw. ein ausschließlich oberflächennaher Abfluss des Niederschlagswassers stattfindet, und dass gleichzeitig hier keine Bewegung erfolgt.

Die oben dargestellten Beispiele zeigen zum Teil eine starke Korrelation der großteils niederschlagsbedingten Bewegung mit der Verringerung des spezifischen elektrischen Widerstandes. Tonig-siltige Rutschungen haben jedoch fast denselben spezifischen elektrischen Widerstand wie Niederschlag, sodass eine Infiltration des Regens in den Untergrund nicht beobachtet werden kann. Aus diesem Grund soll im Rahmen des FWF-Projektes "Hydroslide" die IP-Messung angewendet werden.

#### Hochwasser Interflow

In größeren Einzugsgebieten spielen langanhaltende, advektive Niederschlagsereignisse bei der Hochwasserentstehung eine zentrale Rolle. Solche Dauerregenereignisse waren in den letzten Jahren wiederholt Auslöser von Schadensereignissen. Hierbei gewinnen Zwischenabflussprozesse in Relation zum Oberflächenabfluss stark an Bedeutung. Zur Verfolgung der Tracerausbreitung kamen dabei Beregnungen unterschiedlicher Intensitäten (100–600 m<sup>2</sup> Flächengröße), bodenphysikalische Analytik, geoelektrische Messungen zur Beschreibung der Untergrundstrukturen sowie geoelektrisches Monitoring zum Einsatz.

Dazu waren Messungen auf der Plot- und der Hangskala an gebietsrepräsentativ ausgewählten Standorten notwendig.

Im Rahmen des Projektes "Shallow Interflow" wurden in fünf Testgebieten (Bromberg – Bucklige Welt (NÖ), Brixenbachtal (T), Truppenübungsplatz Wattener Lizum (T), Längental (T) und Ruggbach (Vlbg.)) umfangreiche Untersuchungen zu folgenden Themenbereichen durchgeführt:

- Methodenerprobung und Erfassung konkreter Messdaten für seichten Zwischenabfluss – Ableitung von Bandbreiten von Abstandsgeschwindigkeiten für verschiedene Substrate.
- Skizzierung von Vorgangsweisen zur Umsetzung dieser Messdaten in Regionalisierung.

Abbildung 6 zeigt das Beispiel einer Ausbreitung der Infiltration, anhand derer der seichte Zwischenabfluss berechnet werden kann.



Abb. 6.

4D-Inversionsergebnisse des geoelektrischen Monitorings bei einer künstlichen Beregnung im Brixenbachtal. Darstellung der Differenzen der speziellen elektrischen Widerstände.

#### Schutzdämme

2013 wurden erste geoelektrische Messungen an Schutzdämmen durchgeführt, um zu überprüfen, ob Zonen erhöhter Wasserdurchlässigkeit bestimmt werden können. Eine Änderung des spezifischen elektrischen Widerstandes während eines Hochwassers würde auf eine Durchfeuchtung eines Dammbereiches hindeuten. Eine erste Testreihe wurde am rechten Donaugraben bei Korneuburg realisiert, hier zeigte sich, dass der spezifische elektrische Widerstand nach Rückgang des Hochwassers an einer bereits bekannten undichten Stelle stärker stieg, als im angrenzenden Bereich (Abb. 7). Bei einem Monitoring am Donauschutzdamm bei Krems hatte das Hochwasser kaum einen Einfluss auf den spezifischen elektrischen Widerstand des Dammkörpers ausgeübt. Daraus lässt sich folgern, dass es zu keiner nennenswerten Infiltration von Flusswasser an der Untersuchungsstelle gekommen ist.

Allerdings muss man feststellen, dass bei dammparallelen Profilen die Änderung des Wasserspiegels einen viel stärkeren Effekt auf die Messungen hat, als eine mögliche Infiltration selbst (3D-Effekt). Diesen Effekt gilt es bei der Wahl der Messkonfiguration und der Profilgeometrie zu berücksichtigen.

#### Literatur

- JARITZ, W., REITERER, A. & SUPPER, R. (2004): Landslide Rindberg (Vorarlberg): Multidiscipline Research. – Proceedings of the 10<sup>th</sup> Interpraevent Congress, 173–184, Riva del Garda.
- KIM, J.-H., YI, M.-J., PARK, S.-G. & KIM, J.G. (2009): 4-D inversion of DC resistivity monitoring data acquired over a dynamically changing earth model. – Journal of Applied Geophysics, 68, 522–532, Amsterdam.
- LOVISOLO, M. (2011): Bagnaschino Landslide: From early warning to site-specific kinematic analysis. – Berichte der Geologischen Bundesanstalt, **82**, 68 S., Wien.
- RUPP, C. (2008): Geologische Karte der Republik Österreich 1:50.000, Blatt 47 Ried im Innkreis. – 1 Bl., Geologische Bundesanstalt, Wien.
- SUPPER, R., OTTOWITZ, D., JOCHUM, B., KIM, J.H., RÖMER, A., BARON, I., PFEILER, S., LOVISOLO, M., GRUBER, S. & VECCHIOTTI, F. (2013): Geoelectrical monitoring: an innovative method to supplemented landslide surveillance and early warning. – Near surface geophysics, **12**/1, 133–150, Houten. DOI: https://dx.doi.org/10.3997/1873-0604.2013060

Abb. 7.

Differenzendarstellung des 4D-Inversionsergebnisses der Messungen während und nach dem Hochwasserereignis am Hochwasserschutzdamm bei Tuttendörfl.



# Digitale Karte der geotechnischen Grobcharakteristika von Oberösterreich im Maßstab 1:200.000 (KGG 200 OÖ)

NILS TILCH (1), CHRISTOPH KOLMER (2) & ARBEN KOÇIU (1)

#### **Einleitung und Zielsetzung**

Für jegliche Bauvorhaben sind Kenntnisse zu den Baugrundverhältnissen und -eigenschaften sehr wichtig. Ingenieurgeologischen Karten kommt deshalb eine große Bedeutung zu, da durch diese boden- und felsmechanische Eigenschaften und Charakteristika kartografisch dargestellt und erläutert sowie Hinweise auf Baugrundrisiken gegeben werden.

Kleinmaßstäbige ingenieurgeologische Übersichtskarten können insbesondere in frühen Anbahnungs- und Planungsphasen von überregionalen Bauvorhaben (z.B. Infrastrukturprojekten) brauchbare Informationen zu planungsrelevanten Aspekten liefern. Beispielsweise können so bereits frühzeitig mögliche Problembereiche erkannt und entsprechende Maßnahmen für detaillierte Untersuchungen vorausgeplant werden. Für derartige Zwecke haben sich ingenieurgeologische Übersichtskarten kleinerer Maßstäbe bereits in Großbritannien (1:1.000.000), der Schweiz (1:200.000) und Deutschland-Niedersachsen (1:500.000) bewährt. Allen diesen Karten ist gemein, dass ingenieurgeologisch und/oder geotechnisch relevante Grobcharakteristika der Locker- und Festgesteine in ihrem großflächigen Zusammenhang aufgezeigt werden.

Vor diesem Hintergrund wurde seitens der Geologischen Bundesanstalt (GBA) im Auftrag des Amtes der Oberösterreichischen Landesregierung, vertreten durch die Abteilung für Grund- und Trinkwasserwirtschaft, eine flächendeckende, vorwiegend für regionale und überregionale Fragestellungen geeignete Informations-, Planungs- und Beurteilungsgrundlage in Form eines digitalen, GIS-basierten Kartensatzes hinsichtlich verschiedener geotechnischer Grobcharakteristika im Maßstab 1:200.000 erstellt. Der Geologischen Karte von Oberösterreich im Maßstab 1:200.000 (KRENMAYR & SCHNABEL, 2006), dem zugrundeliegenden GIS-Datensatz und den Kartenerläuterungen (RUPP et al., 2011) kamen hierbei eine besondere Bedeutung zu, da durch diese, neben den äußerst wichtigen geologischen Basisinformationen, auch die kartografischen GIS-Geometrien geliefert wurden.

Im Folgenden wird erläutert, wie, aufbauend auf diesen Basisinformationen und Daten und unter Einbindung weiterer, überwiegend allgemein verfügbarer Informationsquellen, Karten mit Informationen zu verschiedenen ingenieurgeologisch-geotechnischen Grobcharakteristika abgeleitet wurden (digitale Karte der Geotechnischen Grobcharakteristika im Maßstab 1:200.000: KGG 200).

#### Berücksichtigte Daten und Informationen

Als digitaler Basisdatensatz wurden die GIS-Daten der Geologischen Karte von Oberösterreich verwendet. Sämtliche weiteren verwendeten GIS-Daten sind in Tabelle 1 angeführt. Ferner wurden folgende Informationsquellen verwendet, um bestehende Informations- und Wissenslücken schließen sowie flächendeckende Karten erstellen und die Projektergebnisse plausibilisieren zu können:

- Erläuterungen der Geologischen Karte von Oberösterreich im Maßstab 1:200.000 (RUPP et al., 2011).
- Erläuterungen der verfügbaren geologischen Karten im Maßstab 1:50.000 im relevanten Landesgebiet.
- Geotechnische Karte von Oberösterreich (analoge Manuskriptkarte) im Maßstab 1:200.000, inklusive Erläuterungen und Klassifikationstabelle (SCHÄFFER, 1983a, b).
- Manuskriptkarten der geologischgeotechnischen Risikofaktoren im Maßstab 1:50.000 für Blatt 66 Gmunden (SCHÄFFER, 1983c, d) und Blatt 96 Bad Ischl (SCHÄFFER, 1983e).

<sup>(1)</sup> Geologische Bundesanstalt, Neulinggasse 38, 1030 Wien. nils.tilch@geologie.ac.at

<sup>(2)</sup> Amt der Oberösterreichischen Landesregierung, Abteilung Grund- und Trinkwasserwirtschaft,

Kärntnerstraße 10–12, 4021 Linz. christoph.kolmer@ooe.gv.at

Datensatz	Format	Titel/Inhalt
GK 200	GIS-Vektordaten	Geologie von Oberösterreich im Maßstab 1:200.000 (KRENMAYR & SCHNABEL, 2006).
Diverse GK 50	GIS-Vektordaten	Verfügbare geologische Karten im Maßstab 1:50.000.
Lockergesteinskarte	GIS-Vektordaten	Digitale Lockergesteinskarte (HEINRICH et al., 2014; UNTERSWEG et al., 2008).
ÖK 50, ÖK 200	GIS-Rasterdaten	Österreichische Karten im Maßstab 1:50.000 und 1:200.000 zwecks Ableitung von Standortfaktoren (Felsschrofen, Blockschutt, Waldverteilung) vom Bundesamt für Eich- und Vermessungswesen (BEV).
Braugrundrisiko	GIS-Vektordaten	Prozessdaten.
GEORIOS	GIS-Vektordaten	Prozessdaten.

#### Tab. 1.

Verwendete digitale GIS-Daten.

- Digitale Ingenieurgeologische Karte der Umgebung von Ampflwang (TILCH & KOÇIU, 2007).
- Per Felderkundung in ausgewählten Bereichen erhaltene Informationen.
- Sonstige recherchierte themenrelevante Literatur.

#### Methoden und Vorgehensweisen

Die Überführung des digitalen Basisdatensatzes der geologischen Karte im Maßstab 1:200.000 in Karten mit Informationen zu verschiedenen geotechnischen Grobcharakteristiken erfolgte auf zweierlei Weise:

## 1. <u>H</u>olistische, synoptische <u>E</u>xperten<u>b</u>eurteilung nach Schäffer (HEB).

Hierbei handelt es sich nicht um eine streng systematische Bewertung und Gewichtung von Einzelfaktoren (z.B. Härte, Verwitterungsresistenz, Klüftigkeit, Hangposition), sondern um eine erfahrungsbetonte, weitreichend subjektive Expertenbeurteilung, die auf umfangreichen Gebietskenntnissen und Gebietsbeobachtungen beruht. Es wurden für jede einzelne geologische Einheit landesweit – nicht für einzelne Ausstrichbereiche - verschiedene geotechnische Grobcharakteristika abgeschätzt. Diese Vorgehensweise mündete in den frühen 1980er Jahren in der analogen Geotechnischen Karte von Oberösterreich im Maßstab 1:200.000 (SCHÄFFER, 1983a). Aufgrund des Alters dieser Karte ist eine direkte Übertragung der Informationen zu den verschiedenen geotechnischen Grobcharakteristika auf den GIS-Datensatz der digitalen Geologischen Karte von Oberösterreich (GK 200) nicht flächendeckend möglich. Dies liegt darin begründet, dass

zwischenzeitlich jüngere stratigrafische und tektonische Erkenntnisse zu Veränderungen hinsichtlich der Ausdehnung und Bezeichnung verschiedener geologischer Einheiten geführt hatten. In einem ersten Schritt wurden deshalb zunächst nur jene geologischen Einheiten der digitalen geologischen Karte mit den Informationen der analogen Geotechnischen Karte versehen, die direkt vergleichbar sind. Anschließend wurden schrittweise weitere Informationsquellen (u.a. GK 50, Kartenerläuterungen) in hierarchischer Reihenfolge herangezogen, um die noch jeweils bestehenden Informationslücken zu füllen und allen geologischen Einheiten der GK 200 eine Klassifikationseinheit der analogen Geotechnischen Karte zuzuweisen. Ferner wurden so auch bestehende und neue Informationen abgeglichen und gegebenenfalls vorher erlangte Informationen und Bewertungen adaptiert oder korrigiert.

#### 2. <u>H</u>euristische <u>E</u>xperten<u>m</u>ethode (HEM)

Im Gegensatz zur rein erfahrungsbasierten Expertenbeurteilung nach SCHÄFFER (HEB) wurden im Zuge der Anwendung der heuristischen Expertenmethode (HEM) weitere fragestellungsrelevante Daten und Informationsquellen herangezogen. Diese Daten wurden zunächst entsprechend des in Abbildung 1 dargestellten hierarchischen Bearbeitungsganges mit überall anwendbaren Klassifikationssystemen und daran gekoppelten Entscheidungsregeln (z.B. wenn-dann-Regeln) bewertet, um fragestellungsorientierte Basiskarten als Zwischenprodukte (thematische Spezialkarten, Substrat-Konzeptkarten) zu erzielen. Diese wurden in weiterer Folge durch Kompilation und/ oder durch Verknüpfung mit weiteren allgemein verfügbaren Daten (z.B. digitales Höhenmodell) zu folgenden sieben Themenkarten mit Informationen zu verschiedenen geotechnischen Grobcharakteristika zusammengeführt (ТILCH et al., 2016):

- 1. Bereiche unterschiedlicher Veranlagung für raum-zeitlich variable Untergrundverhältnisse.
- 2. Bereiche unterschiedlicher Veranlagung für ereignisbezogene, spontane gravitative Massenbewegungen im Lockergestein.
- 3. Bereiche unterschiedlicher Veranlagung für progressive, tiefgründige gravitative Massenbewegungen.
- 4. Bereiche unterschiedlicher Veranlagung für Sturzprozesse im Fels.
- 5. Bereiche unterschiedlicher Veranlagung für setzungsempfindlichen Untergrund.
- 6. Bereiche unterschiedlicher Veranlagung für betonaggressive Wässer.
- 7. Bereiche unterschiedlicher Veranlagung für Karst-bezogene Untergrundinstabilität.

Exemplarisch soll im Folgenden die Erstellung der Themenkarte 2 mit Informationen zu den Bereichen unterschiedlicher Veranlagung für ereignisbezogene, spontane gravitative Massenbewegungen im Lockergestein näher erläutert werden:

Die Themenkarte 2 wurde mit einer heuristischen Expertenmethode erstellt, welche seitens der GBA zum Zweck der Erzeugung von Dispositionskarten für ereignisbezogene, spontane Massenbewegungen im Lockergestein (= Rutschungsanfälligkeitskarten = Gefahrenhinweiskarten = susceptibility maps) entwickelt und bereits in unterschiedlichen Landschaftsräumen zielführend angewendet wurde. Die verwendete Methode wurde insbesondere für Anwendungen in großen, landschaftlich heterogenen Gebieten der überregionalen Raumskala (z.B. für einzelne Bundesländer) konzipiert. Diese beruht im Wesentlichen auf "Faustregeln", welche auf der Basis von Expertenwissen entwickelt wurden. Mittels dieser Methode werden in vereinfachender Weise Bereiche unterschiedlicher/vergleichbarer relativer Prozessdisposition (relative Rutschungsanfälligkeit) flächendeckend und -detailliert ausgewiesen, indem die Ausprägung und die Kombination folgender drei räumlich variabler Standortparameter mit bedeutsamem Einfluss auf die Hangstabilität/ Hanginstabilität berücksichtigt werden (Abb. 2):

## 1.) Scherwiderstand der relevanten Geosphäre (Lockergestein)

Diesbezüglich wird eine Parameterkarte verwendet, anhand derer die räumliche Variabilität des physikalischen Materialparameters "Winkel der inneren Reibung ( $\phi$ )" der potenziell vorkommenden Lockergesteine semiquantitativ in Form von Parameterwert-Klassen abgebildet wird. Als Kartengrundlage wurde hierfür die als Zwischenprodukt erzielte Substrat-Konzeptkarte hinsichtlich der potenziell feinkörnigsten Substratklasse verwendet.

#### 2.) Waldbestand

Studien in diversen Katastrophenregionen haben ergeben, dass der kritische bzw. zulässige Hangneigungswinkel für "flachgründige" Massenbewegungen im Lockergestein in Waldgebieten aufgrund der stabilisierenden Wirkung der Baumwurzeln im Allgemeinen um bis zu fünf Grad größer ist als im Freiland (TILCH et al., 2008). Diesem Sachverhalt wird Rechnung getragen, indem in Waldgebieten der zulässige "Winkel der inneren Reibung ( $\phi$ )", welcher als kritischer Hangneigungswinkel betrachtet wird, um fünf Grad höher angesetzt wird als in waldfreien Bereichen. Für eine Ausweisung der Waldflächen wurde als Kartengrundlage der Waldlayer der ÖK 200 herangezogen.

#### 3.) Hangneigung

Der Hangneigung kommt eine sehr große Bedeutung zu, weil dadurch die Hangabtriebskraft (bzw. vorhandene wirksame Scherspannung) maßgeblich bestimmt wird. Dies äußert sich dahingehend, dass der Anteil und die Dichte der im Rahmen eines Niederschlagsereignisses in einer Region entstandenen Abrissbereiche von Lockergesteinsrutschungen in flacheren Hangbereichen deutlich kleiner sind, als in steileren Hangbereichen. Allerdings nimmt ab Hangneigungen von 35 bis 40 Grad der Prozessanteil häufig aufgrund grobkörnigerer Lockergesteine und Felsausbisse wieder ab, so dass sich vielfach unter der Berücksichtigung von Hangneigungsintervallen eine Normalverteilung ergibt (SCHWARZ et al., 2007). Für die Ableitung der räumlich variablen Hangneigung wurde als Datengrundlage das digitale Höhenmodell mit einem Meter Rasterweite verwendet.



Schematische Darstellung (nach TILCH et al., 2016) des hierarchischen Bearbeitungsganges inklusive der erforderlichen Informationsquellen und Arbeitsschritte, den angewendeten Methoden und Kriterien sowie den zu erzielenden Zwischenprodukten (grün umrandet). Diese Zwischenprodukte werden als Basiskarten für die Ab-

leitung von Karten mit Informationen zu verschiedenen geotechnischen Grobcharakteristika mittels der heuristischen Expertenmethode benötigt.



Diese drei Parameterkarten werden zu Rasterdaten mit 50 m Rasterweite konvertiert und aggregiert. Anschließend werden diese rasterbasierten Parameterkarten im Rahmen der angewendeten heuristischen Methode überlagert und miteinander verrechnet (Abb. 2).

In einem weiteren Schritt werden jene Bereiche eliminiert, in denen sich potenziell Felsausbisse (Festgesteinsklippen, Felsvorsprünge) befinden. Dies erfolgt anhand der zur Verfügung stehenden Parameterkarte "Hangneigung", indem entsprechend der verwendeten Rasterweite (hier 50 m) ein minimaler Schwellenwert festgelegt wird, ab welchem anzunehmen ist, dass eine Lockergesteinsauflage fehlt oder nur partiell/rudimentär vorhanden ist. Zur Festlegung dieses Schwellenwertes wurden die mittels ÖK 50 ausgewiesenen Felsschrofen (Layer Felssignatur) herangezogen.

Das Ergebnis ist zunächst die in Abbildung 2 dargestellte, rasterbasierte Dispositionskarte "Gleiten/Rutschen im Lockergestein", welche mit verfügbaren Informationen zu gravitativen Massenbewegungen im Lockergestein (Gleiten/Rutschen) plausibilisiert wurde.

Diese Prozessdispositionskarte wurde auf der Basis von kleinmaßstäbigen Datengrundlagen und mittels einfacher Regelwerke und Methoden (siehe heuristische GBA-Methode) erstellt, so dass viele Unsicherheiten enthalten sind. Nicht zuletzt deshalb wurden in einem abschließenden Schritt die ermittelten, räumlich variablen und rasterbasiert ausgewiesenen Prozessdispositionen für jede einzelne geotechnische Einheit der mittels HEB erzielten digitalen Karte der geotechnischen Grobcharakteristik die statistischen Mittelwerte und Medianwerte berechnet sowie die am wenigsten und häufigsten vorkommenden Dispositionsklassen bestimmt. Anhand dieser Werte wurden alle geotechnischen Einheiten zu fünf Einheiten mit ähnlicher Dispositionsverteilung zusammengefasst (Abb. 2).

Grundsätzlich ist die angewendete und teilweise geschilderte heuristische Bewertungsmethodik auch für eine Beurteilung anderer Regionen geeignet, jedoch bedarf es Adaptierungen, die überwiegend in landschaftsspezifischen Aspekten und in den verfügbaren Daten begründet sind. Basierend auf Expertenwissen sind in vielerlei Hinsicht Entscheidungen zu fällen, so dass es sich ebenfalls um eine heuristische, somit stark vom Wissen und der Erfahrung des jeweiligen Experten geprägte Vorgehensweise handelt. Allerdings ist diese aufgrund eindeutiger Entscheidungsregeln wesentlich nachvollziehbarer als die HEB-Methode und in vielerlei Hinsicht reproduzierbar. Dies liegt u.a. auch darin begründet, dass alle Beurteilungen und Bewertungen schrittweise und flächendeckend weitestgehend in vergleichbarer Weise erfolgen, was eine bessere Vergleichbarkeit verschiedener Teilgebiete ermöglicht.

Abschließend sei ausdrücklich darauf hingewiesen, dass die erzeugten Kartenprodukte aufgrund des zugrundeliegenden Maßstabs der verwendeten Basisdaten und der angewendeten Methodik keinesfalls als Ersatz für detailliert erarbeitete Karten und detaillierte Gutachten geeignet sind.

#### Literatur

HEINRICH, M., UNTERSWEG, T., LIPIARSKI, P., GRÖSEL, K., KREUSS, O., LIPIARSKI, I., MOSHAMMER, B., MOSTLER, H., POSCH-TRÖZ-MÜLLER, G. & RABEDER, J. (2014): Digitale Arbeitskarte zur Verbreitung von Lockergesteinen in Österreich 1:50.000 unter Verwendung publizierter und unpublizierter geologischer Karten. – Unveröffentlichter digitaler Datensatz des VLG-Projektes "Bundesweite Vorsorge Lockergesteine", Geologische Bundesanstalt, Wien.

- KRENMAYR, H.G. & SCHNABEL, W. (2006): Geologische Karte von Oberösterreich. – Geologische Bundesanstalt, Wien.
- RUPP, C., LINNER, M. & MANDL G.W. (2011): Erläuterungen zur Geologischen Karte von Oberösterreich 1:200.000. – 255 S., Geologische Bundesanstalt, Wien.
- SCHÄFFER, G. (1983a): Manuskriptkarte der geotechnischen Karte von Oberösterreich 1:200.000. – Geologische Bundesanstalt, Wien.
- SCHÄFFER, G. (1983b): Die Manuskriptkarte der geotechnischen Karte von Oberösterreich 1:200.000. – In: GATTINGER, T.E.: Arbeitstagung der Geologischen Bundesanstalt in Gmunden, Salzkammergut, 26. bis 30. September 1983, 5–6, Gmunden.
- SCHÄFFER, G. (1983c): Die Karte der geologisch-geotechnischen Risikofaktoren der Republik Österreich 1:50.000 anhand des Beispiels von Blatt 66 Gmunden. – In: GATTINGER, T.E.: Arbeitstagung der Geologischen Bundesanstalt in Gmunden, Salzkammergut, 26. bis 30. September 1983, 6–15, Gmunden.
- SCHÄFFER, G. (1983d): Manuskriptkarte der Geologisch-Geotechnischen Risikofaktoren der Republik Österreich 1:50.000, Blatt 66 Gmunden. – Geologische Bundesanstalt, Wien.
- SCHÄFFER, G. (1983e): Manuskriptkarte der Geologisch-Geotechnischen Risikofaktoren der Republik Österreich 1:50.000, Blatt 96 Bad Ischl. – Geologische Bundesanstalt, Wien.
- SCHWARZ, L., TILCH, N. & KOÇIU, A. (2007): Krisenregion Gasen-Haslau (Bezirk Weiz, Oststeiermark) im August 2005, Teil
  2: Bestimmung signifikanter Merkmale für instabile Hangbereiche per bivariater Statistik. – Interner Bericht, 100 S., Geologische Bundesanstalt, Wien.
- TILCH, N. & KOÇIU, A. (2007): Digitale Ingenieurgeologische Karte von Blatt 47 Ried im Innkreis. – In: EGGER, H. & RUPP, C. (Red.): Arbeitstagung 2007 der Geologischen Bundesanstalt Blatt 67 Grünau im Almtal und Blatt 47 Ried im Innkreis, 7.–11. Mai 2007, Linz, 217–219, Wien.
  Poster: https://www.geologie.ac.at/fileadmin/user\_upload/ dokumente/pdf/poster/poster\_2007\_ata2007\_tilch\_kociu. pdf (abgerufen am 22.03.2017).
- TILCH, N., MELZNER, S., JANDA, C. & KOÇIU, A. (2008): GIS-basierte Raumgliederungs- und Regionalisierungsverfahren zur Erstellung von Substrat-Konzeptkarten und Prozessgrunddispositionskarten. – Endbericht (Teil 3) des Projektes Naturgefahrenmanagement BUWELA – Bucklige Welt-Wechselland", 115 S., Geologische Bundesanstalt, Wien.
- TILCH, N., KOÇIU, A., HABERLER, A. & SCHATTAUER, I. (2016): Karte der geotechnischen Grobcharakteristik (KGG 200) für Oberösterreich. – Endbericht des Projektes "Geogenes Baugrundrisiko" (OC-053), 75 S., Geologische Bundesanstalt, Wien.
- UNTERSWEG, T., LIPIARSKI, P. & HEINRICH, M. (2008): Die digitale Karte quartärer Sedimentgesteine in Österreich: Ein "Spinoff" rohstoffgeologischer Bearbeitung. – Abhandlungen der Geologischen Bundesanstalt, **62**, 117–122, Wien.

### Steinschlag- und Felssturzdisposition im Dachsteinkalk – Versagensmechanismen und Reichweiten

#### Sandra Melzner (1)

#### Einleitung

Steinschlag und Felssturz nehmen unter den gravitativen Massenbewegungen eine besondere Stellung ein, da diese spontan und meistens als verhältnismäßig kleindimensionierte Prozesse auftreten, aber durch sehr hohe Geschwindigkeiten und ein hohes Zerstörungspotenzial gekennzeichnet sind. Zudem ist zwischen dem Ablöse- und Ablagerungsbereich oftmals eine große Distanz zu verzeichnen und abgelagerte Sturzblöcke im Siedlungsbereich werden oftmals von den Anrainern entfernt. Diese Faktoren erschweren die Kartierung, aber auch die Gefährdungsanalyse dieser Prozessgruppe. In der vorliegenden Arbeit werden einige Ergebnisse der Gefährdungsanalyse durch Steinschlag und Felssturz in der Gemeinde Hallstatt vorgestellt (MELZNER, 2015).

#### Tektonischer und geologischer Überblick

Das Untersuchungsgebiet ist Teil des höchsten Deckensystems der Nördlichen Kalkalpen (Oberostalpin), dem Juvavischen Deckensys-

#### Abb. 1.

Geologische Grunddisposition im Untersuchungsgebiet für das Auftreten dominanter Prozesse/Prozessketten gravitativer Massenbewegungen. Im glazial übersteilten Relief des Dachsteinkalks wird das Auftreten von Steinschlag und Felssturz vorwiegend durch die Raumstellung des Trenntem, welches in diesem Bereich durch die Dachstein-Decke und die Hallstätter Zone repräsentiert ist (MANDL, 2017: Abb. 3). Diese beiden tektonischen Einheiten sind durch unterschiedliche Fazies (Trias in Hallstätter Fazies, Trias in Dachsteinfazies) aufgebaut, die sich hinsichtlich ihrer geomechanischen Eigenschaften sehr stark unterscheiden.

Die **Dachsteinfazies** wird durch Sedimentgesteine des seichtmarinen Tethys-Schelfs aufgebaut, die Gesteine der **Hallstätter Fazies** hingegen bildeten sich in einer Wassertiefe von einigen hundert Metern des Tiefschelfs (MANDL et al., 2012). Nach dem jurassischen Decken- und Gleitschollentransport wird das Relief durch den Plassenkalk (Oberjura) der sogenannten **"Neoautochtonen Hülle"** plombiert (MANDL, 2017: Abb. 3).

Die großen lithologischen Unterschiede und demzufolge unterschiedlichen geomechanischen Eigenschaften (Festgesteine versus veränderlich feste Gesteine) führen zu einer räumlich unter-

flächengefüges und Verwitterungsprozesse kontrolliert. Im Bereich des Plassen ist Steinschlag und Felssturz ein Indikator für die Aktivität der tiefgreifenden Hangbewegung. Blickrichtung Ostnordost.



(1) Geologische Bundesanstalt, Neulinggasse 38, 1030 Wien. sandra.melzner@geologie.ac.at

schiedlichen lithologischen Grunddisposition für Steinschlag- und Felssturzprozesse. In Abbildung 1 wird ersichtlich, dass es sich beim Echerntal um ein glaziales Trogtal im triassischen Dachsteinkalk handelt. Das übersteilte Relief und die relative Raumlage des Trennflächengefüges im Verschnitt mit der Hangoberfläche disponieren dieses Tal in hohem Maße gegenüber Steinschlag- und Felssturzprozessen. Der Bereich um den Plassen und das Salzberg Hochtal ist geologisch durch eine "Hart auf Weich"-Situation von triassischem (Hallstätter Fazies) und jurassischem Kalkstein ("Plassen Scholle der Hallstätter Zone") charakterisiert, welche permo-triassische, feinkörnige klastische Sedimente und Evaporite (vorwiegend des Haselgebirges) überlagern. Diese geotechnische Grunddisposition begünstigt, dass die spröd-harten Kalksteine auf den plastisch-weichen tonhaltigen Gesteinen abdriften. Im Bereich des Plassen treten Sturzprozesse vorwiegend im Randbereich der Deckplatte aus Plassenkalk auf. Diese randliche Auflösung in Form von Sturzprozessen bedingt u.a. auch die Auslösung von Rutschungen und Schutt-/Erdströmen aufgrund der undrainierten Belastung des unterlagernden tonigen Materials (für Details siehe MELZNER et al., 2017).

#### **Disponierende Faktoren**

Die Ablösebereitschaft von Blöcken oder Felsmassen ist von einer Vielzahl unterschiedlicher Parameter abhängig, eine erkennbare Wechselwirkung besteht zwischen Reliefausbildung (z.B. Hangneigung), Materialeigenschaften (z.B. Reibungswinkel) und struktureller Merkmale (Orientierung der Trennflächen) der karbonatischen Sedimentgesteine.

Die Ausbildung bzw. Variabilität der Bankung im Dachsteinkalk resultiert aus der zyklischen Wiederholung typischer Lithofaziesabfolgen, die als Lofer-Zyklothem bezeichnet werden (MANDL et al., 2012) (Abb. 2a, b).

Aufgrund der leichteren Verwitterbarkeit der Residualsedimente (Horizont A in Abbildung 2a und b) kommt es zur Ausbildung deutlich ausgeprägter Bankungsfugen (Abb. 2a). Die aus der selektiven Verwitterung entstandenen Hohlräume ("Unterschneidung") und die niedrigen Reibungswinkel des mergelig-tonigen Materials (Abb. 2b) haben entscheidenden Einfluss auf die Hanginstabilität (Abb. 5).

Sehr typisch für den Dachsteinkalk ist, neben der deutlich ausgeprägten Bankung, der plötzli-





Lofer-Zyklothem; A = wenige cm-dicke Verwitterungshohlräume ehemaliger toniger/kalkiger Residualsedimente, häufig unter C; B = dolomitisierte karbonatische Gezeitensedimente mit einer Bankdicke von einigen Dezimetern; C = meterdicke, reine hellgraue Kalkbänke.

che Wechsel in der Ausbildung des Trennflächengefüges in Form von tektonischen Flexuren und das Vorhandensein dominanter Störungssysteme mit hohem Durchtrennungsgrad (Abb. 3b). Im gebankten Dachsteinkalk ist das primäre Trennflächengefüge (Abb. 3a) sehr maßgeblich bei der Kluftkörperausbildung. Das sekundäre Trennflächengefüge kann räumlich sehr variabel (z.B. zwischen Wandfuß bis in höhere Felswandbereiche) sein, von mehreren Bänken erfassend (große Blöcke oder Felsmassen) bis sehr engständig (= kleine Kluftkörper) (Abb. 3b).

Die Raumlage des Trennflächengefüges zur Hangexposition hat des Weiteren entscheidenden Einfluss auf die hydrogeologischen Verhältnisse. Die hangauswärts gerichteten Schichtungsflächen und markante Störungs-/Kluftflächen bieten gute Möglichkeiten für Niederschlags-/Hangwasser in Hangrichtung abzufließen und maßgeblich zum Versagen von größeren Felspartien beizutragen.



Abb. 3.

Der Dachsteinkalk ist neben der deutlich ausgeprägten Bankung durch plötzliche Wechsel im Trennflächengefüge in Form von tektonischen Flexuren und dominanter Störungen gekennzeichnet (Beispiel Echernwand).

Die Topografie des Untersuchungsgebietes ist durch sehr steile Einhänge gekennzeichnet (Abb. 4a). Dies ist darin begründet, dass aufgrund der extremen lithologischen Unterschiede und geomechanischen Eigenschaften der Gesteine, die erosive Wirkung der Gletscher besonders effektiv einsetzen konnte.

Das Echerntal ist durch annährend vertikale, mehrere hundert Meter hohe Felswände charakterisiert, die vorwiegend aus mesozoischem Dachstein-Kalkstein (Dachstein-Decke) aufgebaut

Abb. 4.

Glazial übersteiltes Relief und Hangtopografie im Dachsteinkalk. **a:** Echernwand (rote Linie), Hirlatzwand (grüne Linie), Hallstatt 1 (senfgelbe Linie), Hallstatt 2 (braune Linie) und Hohe Sieg (hellblaue Linie).

**b:** Felseinhänge oberhalb der Ortschaft Hallstatt. Blickrichtung Südsüdost. sind. Die nordwest- bis nordostexponierte Hirlatzwand (grüne Profillinie in Abb. 4a) hat eine bedeutend längere und höhere Erstreckung (bis zu einer Höhe von annährend 2.000 m ü. A.), als die südwestexponierte Echernwand (rote Profillinie in Abb. 4a). Zudem ist die Hirlatzwand in einigen Bereichen aufgrund der dip-slope Situation (hangparalleles Einfallen der Schichtung) durch flachere Hangneigungen als die Echernwand gekennzeichnet. Im Bereich der Ortschaft Hallstatt weisen die ost- bis südostexponierten Einhänge eine recht gleichförmig ansteigende Hangneigung auf, die mit durchschnittlich 40 bis 60 Grad flacher ist, als jene der Felswände des Echerntals. Die Hänge unterhalb des Rudolfsturms ("Hallstatt 1" = senfgelbe Profillinie in Abb. 4a) sind jedoch bedeutend kürzer ausgeprägt (etwa 820 m ü. A.), als die Einhänge orografisch links der Mühlbachschlucht ("Hallstatt 2 = braune Profilinie in Abb. 4a). Letztere sind jedoch in gleicher Höhe durch eine Geländekante zu dem flacher geneigten Hirschtal gekennzeichnet, das etwa in 1.000 m ü. A. wie-



der eine Versteilung der Hangneigung aufweist (Abb. 4b). Die orografisch rechten Einhänge des Salzberg Hochtals ("Hohe Sieg" = hellblaue Profillinie in Abb. 4a) weisen eine ähnliche Steilheit auf wie die Echernwand. Sie sind allerdings mit ca. 200 m Höhendifferenz zwischen Hohe Sieg und Talsohle bedeutend kürzer ausgeprägt.

#### Versagensmechanismen und Reichweite

Echernwand: Die Schichtung des Dachsteinkalks fällt vorwiegend flach in den Hang ein, in Bereichen tektonischer Flexuren weist sie jedoch auch eine große Spannbreite von Einfallsrichtungen/Einfallswerten auf. Aufgrund einiger Strukturanomalien mit dominanten Trennflächenscharen und von Einschaltungen von Mergellagen ist der Gebirgsverband partiell tiefgreifend aufgelockert. Die Beschaffenheit des Trennflächengefüges und dessen relative Lage zur Felswandtopografie führt zu einer räumlichen Variabilität möglicher dominanter Versagensmechanismen. Generell ist eine – wenn auch unterschiedliche – Disposition für Steinschlag im ganzen Wandbereich gegeben, insbesondere in den Bereichen tiefgreifender Auflockerung. Der Akkumulationsbereich vergangener Sturzprozesse am Unterhang und Hangfuß ist durch Hangschuttablagerungen gekennzeichnet, wo Geländeneigungen mit bis zu 40 Grad vorkommen. Zwei Felssturzakkumulationen und vereinzelte Sturzblöcke weisen größere Reichweiten auf. Das Steinschlagereignis vom Juli 2012 weist ein geometrisches Gefälle von 45 Grad auf. Das Steinschlagereignis im September 2014 hat gezeigt,

#### Abb. 5.

Dispositionsfaktoren und Versagensmechanismen: im Bereich der Felswandbereiche oberhalb der Ortschaft Hallstatt/des Hirschtals (a) und im westlichen Teil der Hirlatzwand (b). dass bereits kleine Kubaturen große Intensitäten und Reichweiten erreichen können. Die meisten vermessenen Sturzblöcke im Tal-/Siedlungsbereich weisen Kubaturen < 10 m<sup>3</sup> auf.

Hirlatzwand: Die vertikale Erstreckung dieser Felswand ist bedeutend größer als jene der Echernwand. Die Schichtung des Dachsteinkalks fällt vorwiegend hangauswärts bzw. schleifend zur Hangrichtung ein, in Bereichen tektonischer Flexuren weist sie jedoch auch eine große Spannbreite von Einfallsrichtungen/Einfallswerten auf. Einige mögliche dominante Trennflächenscharen und Einschaltungen von Mergellagen verursachen partiell tiefgreifende Auflockerung bzw. Schwächung des Gebirgsverbandes, die hydrologischen Verhältnisse haben des Weiteren bedeutenden Einfluss auf die Prozessdisposition. Die Beschaffenheit und die dominante relative Lage der Trennflächen zur Felswandtopografie führen zu einer räumlichen Dominanz gleitender Versagensmechanismen (Abb. 5b). Eine Disposition für Sturzprozesse ist im ganzen Wandbereich – wenn auch unterschiedlich - gegeben, Felssturz- bis Bergsturzpotenzial (> 1 Mio. m<sup>3</sup>) ist sehr wahrscheinlich. Der Akkumulationsbereich vergangener Sturzprozesse ist durch mächtige Hangschuttablagerungen mit flacheren Neigungen als jener der Echernwand aufgebaut. Ein sehr großer Felssturzbereich, in dem wahrscheinlich mehrere Ereignisse erfolgten (und teilweise fluviatil überformt/verändert wurden), ist durch eine bedeutend größere Reichweite charakterisiert. Das Felssturzereignis vom Juli 2012 weist ein geometrisches Gefälle von 41 Grad auf. Die meisten vermessenen Sturzblöcke im Tal-/Siedlungsbereich weisen Kubaturen < 12 m<sup>3</sup> auf.





Ortschaft Hallstatt: Die Orientierung der Schichtung des Dachsteinkalks ist vorwiegend flach einfallend und zeigt eine große Spannbreite von Einfallsrichtungen (Abb. 5a). Aufgrund der flach einfallenden Schichtflächen und einhergehender Gesteinswechsel sind topografisch markante Felsstufen ausgebildet, die sich bedeutsam auf die Sturzprozesse (Sprunghöhe und Energien) auswirken können (Abb. 6a, b). In einigen Bereichen ist die Schichtung in Hangrichtung einfallend bzw. steil suborthogonal zum Hang streichend. Einige mögliche dominante Trennflächenscharen und Einschaltungen von Mergellagen verursachen auch hier partiell tiefgreifende Auflockerung bzw. Schwächung des Gebirgsverbandes. Aufgrund der flachen Lagerung der Schichtung dominieren kippende Versagensmechanismen. Steinschlag ist im ganzen Bereich möglich, Felssturzpotenzial ist in den Bereichen tiefgreifender Auflockerung möglich. Die Akkumulationsbereiche vergangener Sturzprozesse sind durch geringmächtige Hangschuttablagerungen und/oder Fels mit geringer Schuttauflage aufgebaut. Die meisten vermessenen Sturzblöcke im Siedlungsbereich weisen Kubaturen < 5 m<sup>3</sup> auf. Es ist zu vermuten, dass größere Sturzblöcke direkt in den See gestürzt sind.





Aufgrund hoher Sprunghöhen/-energien hat das Felssturzereignis vom 10. April 1965 keine Schneise in den Wald gehauen (a) und ein Haus zerstört und zwei Häuser beschädigt (b); zwei Menschen überlebten im Haus. Quelle: Polizeichronik (a) und Hans Jörgen Urstöger (b).

Hohe Sieg bis Niedere Sieg: Im Bereich der Hohen Sieg sind die Schichtflächen des Dachsteinkalks intensiv verfaltet und hangparallele Zerrstrukturen lösen größere Felspartien vom rückwärtigen steilen Gebirge ab. Letzteres ist auch bei der Niederen Sieg bedeutsam, allerdings sind dort die Schichtflächen nicht so stark verfaltet und Lösungshohlräume schwächen den Gebirgsverband. Der östliche Teil der Niederen Sieg ist durch ein Felsschrofengelände charakterisiert, welches keine tiefgreifenden Zerrstrukturen aufweist. Eine Disposition gegenüber Steinschlag ist in allen Felswandbereichen - wenn auch unterschiedlich – gegeben, Felssturzpotenzial ist vorwiegend in den Bereichen 1 und 2 möglich. Die Sturzablagerungen der drei Bereiche unterscheiden sich sehr stark voneinander: Bereich 1 ist durch mächtige grobblockige Sturz-/Felssturzakkumulationen aufgebaut, die Bereiche 2 und 3 sind durch geringmächtigere Sturzakkumulatio-



Abb. 7. Lage der kartierten Sturzblöcke ("Stummen Zeugen", rote Punkte) im Bereich der Hohen Sieg und Niederen Sieg (Bereiche 1–3).

nen charakterisiert (Abb. 7). Die meisten vermessenen Sturzblöcke in der Talsohle weisen Kubaturen < 1,1 m<sup>3</sup> auf. Es ist anzunehmen, dass einige Sturzblöcke von der Wiese geräumt worden bzw. direkt in den Mühlbach gerollt sind.

#### Fazit

Aufgrund der historisch gewachsenen Siedlungsstruktur von Hallstatt liegen einige Häuser und Infrastrukturen in potenziell gefährdeten Bereichen, weshalb eine nachhaltige Raumplanung nur bedingt möglich ist. Für die Abgrenzung potenziell gefährdeter Bereiche ist es ratsam, die

#### Literatur

- MANDL, G.W. (2017): Vom Traunstein zum Dachstein Geologie im Querschnitt. – Tagungsband zur Arbeitstagung der Geologischen Bundesanstalt 2017, 22–28, Wien.
- MANDL, G.W., HUSEN VAN, D. & LOBITZER, H. (2012): Erläuterungen zu Blatt 96 Bad Ischl. – 215 S., Geologische Bundesanstalt, Wien.
- MELZNER, S. (2015): Analyse des Gefahrenpotentials durch primäre Sturzprozesse (Steinschlag/Felssturz) – Gemeindegebiet Hallstatt. – Unveröffentlichter Bericht, 185 S., 10 Kartenbeilagen, Geologische Bundesanstalt, Wien.

Ergebnisse der unterschiedlichen Methoden (Kartierung, Ereignischronik, Steinschlag-Simulation) im Kontext zueinander zu betrachten (MELZNER et al., 2017). Die Gefahrenzonierung ermöglicht es, künftige Siedlungsentwicklungen in potenziell gefährdeten Bereichen vorbeugend zu überdenken.

#### Dank

Ich bedanke mich bei Michael Lotter, Gerhard W. Mandl und Nils Tilch (alle Geologische Bundesanstalt, GBA), Wolfgang Gasperl, Michael Schiffer, Stefan Janu, Gerhard Scherer, Christian Pürstinger (alle Wildbach- und Lawinenverbauung, WLV), Hans Jörgen Urstöger und Karl Wirobal (beide Museum Hallstatt), Fritz Idam, Norbert Maier (beide Österreichische Bundesforste, ObF) und der Gemeinde Hallstatt.

<sup>MELZNER, S., MOSER, M., OTTOWITZ, D., OTTER, J., LOTTER, M.,</sup> MOTSCHKA, K., IMREK, E., WIMMER-FREY, I., ROHN, J. & PREH, A. (2017): Multidisziplinäre Grundlagenerhebung als Basis für die Implementierung eines Monitoringsystems am Plassen. – Tagungsband zur Arbeitstagung der Geologischen Bundesanstalt 2017, 140–146, Wien.

# Verbauungsgeschichte Hallstätter Mühlbach und Revision des Gefahrenzonenplans der Marktgemeinde Hallstatt

#### CHRISTIAN PÜRSTINGER (1)

#### Allgemeine Hintergrundinformationen

Der Hallstätter Mühlbach entwässert ein 3,44 km<sup>2</sup> großes Einzugsgebiet. Es erstreckt sich vom Hohen Plassen (1.954 m) über das Hallstätter Hochtal bis zur Mündung in den Hallstätter See, direkt im Ortszentrum von Hallstatt (auf 508 m Seehöhe). Das Einzugsgebiet des Mühlbaches ist fächerförmig und wird durch mehrere Quellbäche gespeist. Die bedeutendsten Zubringer, welche alle am Salzberg-Hochtal einmünden, sind der Moosbach (Langmoos) oder Siegbach, der Steinbergbach, Sagbach und in der Fortsetzung des Mühlbaches der Kreuzbergbach (Abb. 1). Von der Einmündung in den Hallstätter See bis zur Vereinigung mit dem Steinbergbach heißt der Bach Mühlbach, anschließend aufwärts heißt das Hauptgerinne Kreuzbergbach. Das Ortszentrum von Hallstatt liegt auf einem Schwemmkegel, den der Mühlbach über Jahrtausende aus Geröll- und Geschiebemassen angeschüttet und deltaförmig in den Hallstätter See vorgebaut hat. Durch das Ortszentrum von Hallstatt wird der Bach in einer

viel zu klein dimensionierten Steinkünette (früher zusätzlich zwei Fluder) an der linken Schwemmkegelachse bis in den Hallstätter See geführt. Das mittlere Schwemmkegelgefälle des Marktbereiches beträgt ca. 12 %. Darüber stürzt der Mühlbach kaskadenförmig als Wasserfall, tief in den gebankten Dachsteinkalk eingeschnitten, in das Ortszentrum von Hallstatt. Diese Felsklamm, die als "Hölle" bezeichnet wird, weist vom untersten Sperrenbauwerk (761 m ü. A., knapp unterhalb der Soleleitungsbrücke) bis zum Schwemmkegelhals (518 m ü. A.) ein Gefälle von 62 % auf.

Oberhalb der Felsklamm, im Salzberg Hochtal, bewahrt eine wasserundurchlässige Deckschicht des "Ausgelaugten" die Salzlagerstätten vor unerwünschten eindringenden Niederschlägen und Bachwässern und schützt sie so vor Verlaugung. Diese Deckschicht des "Ausgelaugten" weist eine sehr schlechte Versickerungsfähigkeit auf. Dies führt zu einem raschen Anschwellen des Baches bei größeren Niederschlagsereignissen. Über diesem relativ undurchlässigen Schutzmantel lagert



Abb. 1. Übersicht des Einzugsgebietes des Hallstätter Mühlbaches und seiner Zubringer.

(1) Wildbach- und Lawinenverbauung, Forsttechnischer Dienst, Gebietsbauleitung Oberösterreich West, Traunreiterweg 5, 4820 Bad Ischl. *christian.puerstinger@die-wildbach.at* 

in den oberen Bereichen, vor allem im Bereich der Ostflanke des Plassen, eine durchlässige mächtige Schuttdecke aus vorwiegend Gehänge-, Lawinenund Haldenschutt.

#### **Bach- und Verbauungsgeschichte**

Die Verbauungsgeschichte des Hallstätter Mühlbaches reicht bis zu den Anfängen des Dienstzweiges des Forsttechnischen Dienstes für Wildbach- und Lawinenverbauung zurück. Zuvor hatte die Salinenverwaltung bereits seit Jahrhunderten bautechnische Maßnahmen getroffen, um ein Eindringen von gefährlichen Wässern in den Salzbergbau zu verhindern. Nennenswerte Katastrophenereignisse vor dem Jahr 1884 ereigneten sich 1245 v. Chr. (Massenbewegung), 311 v. Chr. (Massenbewegung), 1572, 1598, 1661, 1705, 1726, 1729, 1743, 1805, 1880 und 1881. Hier ist besonders das Ereignis von 1572 hervorzuheben. Hier brachten die Wassermassen des gewaltig angewachsenen Mühlbaches so große Mengen an Schutt und Steinen mit sich, dass der überwiegende Teil der anliegenden Häuser schwer beschädigt wurde. Unter dem Bogen am Ausgang des Marktes (sog. "Seeauergewölbe") hatte sich so viel Murmaterial angestaut, dass zwischen Angeschwemmtem und Gewölbescheitel "just nur eine Schlange hätte durchschwimmen können".

Am 18. und 19. Juli 1884 kam es im Gebiet des Salzberges zu gewaltigen Gewittern mit langanhaltenden Wolkenbrüchen. Die Heftigkeit dieser Unwetter verursachte Rutschungen vom Kreuzberg her und die sich hier aufstauenden Rutschmassen führten wieder zu Murenabgängen, die sich in der Mühlbachschlucht vereinten und auf das Ortsgebiet zurollten (Abb. 2).

Der erste Wolkenbruch ging am 18. Juli 1884 um 6 Uhr abends nieder und es dauerte nicht lange, bis sich der dicke, aus mit Wasser durchmischtem Hang- und Haldenschutt bestehende zähe Brei nach Hallstatt wälzte. Er war mit größeren Felsblöcken vermischt und alles, was dem schlammigen Schuttstrom im Wege stand, wurde weggerissen oder überschüttet. Wo er sich ausbreiten konnte, deponierte er seine Schuttmassen bis zur Fensterhöhe der entgegenstehenden Häuser. Durch Eingänge, Fenster- und Kelleröffnungen drang das Murmaterial in das Innere der Behausungen und verwüstete die Wohnungen in den Erdgeschoßen. Die engen Gassen im Bereich des Ortszentrums wurden unbegehbar und die wenigen freien Plätze mit Gesteinsmaterial aufgeschüttet. Das Aus-



Abb. 2. Situation von der Mühlbachkatastrophe am 18. Juli 1884 (historische Ereignisdokumentation).

maß der Verwüstungen nahm katastrophale Formen an, als sich am nächsten Tag das Unwetter nochmals wiederholte. Die zur Hilfestellung aus Linz angeforderten 90 Pioniere waren zusammen mit der Hallstätter Zivilbevölkerung und abgestellten Salinenarbeitern wochenlang mit den Aufräumungsarbeiten beschäftigt.

Die gewaltigen Murenabgänge in den Jahren 1880, 1881 und 1884 und aufgrund einer Vielzahl von Ereignissen in den vorangegangenen Jahren im gesamten Alpenraum veranlassten Kaiser Franz Joseph, durch seinen damaligen k. k. Ackerbauminister Julius Graf Falkenhayn (1829–1899), im Juni 1884 das Rechtsgesetz "betreffend Vorkehrungen zur unschädlichen Ableitung von Gebirgsgewässern" (kurz "Wildbachverbauungsgesetz") zu erlassen. Der Grundstein für die Gründung der "k. k. Forsttechnischen Abteilung für Wildbachverbauung" (nun "Wildbach- und Lawinenverbauung", WLV) wurde gelegt. Diese beauftragte ihren Mitarbeiter, den k. k. Forstinspections-Commissär Adalbert Pokorny (1853–1912) damit, einen "Motivenbericht zum Detail Projecte über die systematische Verbauung und dauernde Beruhigung des Mühlbaches am Hallstätter Salzberge" (Abb. 3) auszuarbeiten (POKORNY, 1885). Das Ziel dieser Studie sollte sein, den unberechenbaren Lauf des Mühlbaches und seiner vier Quellbäche (Langmoosbach, Kreuzbergbach, Sagbach, Steinbergbach) durch technische Baumaßnahmen zu zähmen. Ein weiteres Bedrohungsszenario für Hallstatt bezeugen gewaltige Felssturzblöcke in der Mühlbachklamm unterhalb der Soleleitungsbrücke. Die erfolgreiche Zähmung des Hallstätter Mühlbaches stellte ein Monarchie-weites Vorzeigeprojekt der k. k. Wildbachverbauung dar



Abb. 3. Der Lageplan (Auszug) zeigt das 1884 durch k. k. Forstinspections-Commissär Adalbert Pokorny auf Basis technischer und forstlich-biologischer Maßnahmen erarbeitete Verbauungsprojekt im Hallstätter Mühlbach (RGBL. Nr. 117/1884).

und wurde von SIMONY (1889–1895) entsprechend gewürdigt. Den geologischen Hintergrund des Verbauungsprojektes bildete die Publikation "Über die Ursachen der Wildbachverwüstung in Hallstatt" (КОСН, 1884) durch Gustav Adolf Koch, Professor und Dozent an der Hochschule für Bodenkultur in Wien.

Schon im Herbst 1884 wurde durch die Wildbach- und Lawinenverbauung mit der Umsetzung der Projektmaßnahmen begonnen und von 1885 bis 1888 umfangreiche Verbauungsmaßnahmen oberhalb von Hallstatt umgesetzt. Diese umfass-

Abb. 4. Die 1885 erbaute "Falkenhayn-Sperre" im Mühlbach.



ten im Wesentlichen Sperrenstaffelungen mit 44 Steinsperren, 57 Holzsperren, Steinrinnen, umfangreiche Aufforstungen und die Drainage der rutschanfälligen Bereiche "Dammwiese" und "Sagmösern". Die viel zu klein dimensionierte Ortsverbauung blieb durch das damalige Projekt unangetastet, ist wesentlich älter als die WLV, wurde ursprünglich von der Saline errichtet und von privaten Investoren fortgeführt.

Die so genannte "Falkenhayn-Sperre" (Abb. 4), erbaut 1885 und benannt nach dem damals amtierenden Ackerbauminister Julius Graf Falkenhayn, stellt eines der Schlüsselbauwerke der Mühlbachverbauung dar. Durch die konsolidierende Wirkung des Bauwerkes wurde die Erosionsbasis gehoben und der Mühlbach nachhaltig an der Eintiefung gehindert sowie die Einhänge stabilisiert.

Weitere Verbauungsmaßnahmen bzw. Instandhaltungsmaßnahmen im Salzberg Hochtal erfolgten nach dem Hochwasser von 1899 und im Jahr 1913. Zwischen 1953 und 1958 wurden das Verbauungssystem im Hochtal ergänzt (Entwässerungen, Aufforstungen, Errichtung zusätzlicher Stein- und Holzsperren, ca. 180 lfm Steinschale im Langmoosbach) und Hochwasserschäden nach dem Ereignis von 1956, infolge dessen die



Abb. 5. Situation am Oberen Marktplatz nach dem Murenabgang im Frühjahr 1968.

Backstube "de Pretis" (heute Cafe Derbl) durch den Hallstätter Mühlbach stark verschüttet wurde, behoben.

Starke Schneefälle und langanhaltende, heftige Regenfälle führten im Frühjahr 1968 zum Abgang einer Mure durch die Mühlbachschlucht. Besonders betroffen waren der Obere Marktplatz (Abb. 5), der Badergraben und der Pfannhausbühel. Die dadurch entstandenen Schäden wurden durch die WLV über Sofortmaßnahmen behoben.

Im Jahr 1985 kam es im Salzberg Hochtal im Bereich des sogenannten "Rotes Kögele" zu einem Felssturz infolge Kippbruch im Ausmaß von ca. 30.000 m<sup>3</sup> ohne Auswirkungen auf den Dauersiedlungsraum von Hallstatt. Zwischen 1989 und 1990 erfolgten Ergänzungen durch Betonsperren im Saagbach und Ausbesserungsarbeiten an der Steinschale im Steinbergbach. 1998 wurde über Betreuungsdienstmaßnahmen eine sehr desolate Ufermauer der Unterlaufverbauung im Markt von Hallstatt saniert.

Im Jahr 2007 erfolgten Ergänzungen in der Verbauung im Bereich der Mühlbacheinhänge in Form von Drahtseilnetzwerken zum Schutz des Hallstätter Mühlbaches vor unkontrolliertem Eintrag von Unholz- und Erosionsmaterial durch Schneerutsche und Sturzprozesse. Aufgrund eines Felsabbruches vom sogenannten "Solingerkogl" (im Langmoosbach) im Juni 2011, welcher eine Rutschung im Graben zwischen den Kögeln auslöste, die bis zur Forststraße (auf 1.063 m ü. A.) vordrang, wurden unterhalb des Dammes Drainagierungen (Sofortmaßnahmen 2011 und 2012) seitens der Wildbach- und Lawinenverbauung durchgeführt. Die Rutschung ist bis dato zum Stillstand gekommen.



Abb. 6. Situation beim Ereignis vom 18. Juni 2013 im Bereich des Oberen Marktplatzes/Badergraben (Foto: Frühauf, 2013).

Das jüngste Katastrophenereignis im Hallstätter Mühlbach ereignete sich am 18. Juni 2013 gegen 18 Uhr. Ein kleinräumiges Starkregenereignis führte hier zu einem verheerenden Hochwasser, von dem besonders der zentrale Marktbereich betroffen war (Abb. 6). Bei dem Ereignis handelte es sich um einen Hochwasserabfluss mit starkem Geschiebetrieb bzw. fluviatilem Feststofftransport. Die Ursache für die katastrophalen Auswirkungen im Ortszentrum war vor allem das viel zu klein dimensionierte Ortsgerinne. Infolge Querschnittseinengung, diverser Gefällsknicke und einer Verflachung der Gerinnesohle zum Hallstätter See hin (Mündungsbereich) kam es hier zu massiven Geschiebeauflandungen und in weiterer Folge zu einem Überlaufen des Gerinnes. Insgesamt waren 32 Gebäude mit zum Teil schwersten Schäden durch Überflutungen und Verschotterungen betroffen. Personenschäden gab es glücklicherweise keine. Weiters wurde das alte Verbauungssystem im Hochtal teilweise arg in Mitleidenschaft gezogen bzw. wurden einige Bauwerke zerstört, ein Großteil der Bauwerke ist jedoch noch völlig intakt und hat mit Sicherheit ein größeres Schadensausmaß verhindert. Dieses Ereignis gab den Ausschlag für die Ausarbeitung des Hochwasserschutzprojektes "Hallstätter Mühlbach 2014" durch die Wildbach- und Lawinenverbauung (über Antrag der Marktgemeinde Hallstatt).

Ziel dieses Projektes ist zum einen eine Stabilisierung und Konsolidierung im Hallstätter Hochtal (Entwässerungsmaßnahmen, Instandhaltung, Instandsetzung, Ergänzung des bestehenden Schutzsystems, Gewässerpflege, ergänzende Aufforstungen) sowie die zusätzliche Errichtung von Filterbauwerken für die Ausfilterung von Unholz

und Schadgeschiebe. Zum anderen soll das Ortszentrum der Marktgemeinde Hallstatt bei Eintritt eines Großereignisses zusätzlich durch die Herstellung eines massiven Filterbauwerkes mit Murbrecherfunktion (Schlüsselbauwerk) unmittelbar oberhalb der direkt in das Ortszentrum abfallenden Schluchtstrecke vor katastrophalen Schadwirkungen bewahrt werden. Zur schadlosen Ableitung eines rund 30-jährlichen Hochwasserabflusses (Reinwasser) im Ortsbereich sind lokale Gerinneaufweitungen (u.a. Neubau der Landesstraßenbrücke) und zusätzlich die Anlage zweier Entlastungsstränge erforderlich. Die Maßnahmen im Ortsbereich sowie umfangreiche Sanierungsmaßnahmen an den Schutzbauwerken im Hochtal wurden seit 2014 bereits umgesetzt. Für 2017 ist die Errichtung des Filterbauwerkes am Beginn der Schluchtstrecke geplant.

#### Der Gefahrenzonenplan der WLV – Zielsetzungen und rechtliche Hintergründe

Erhebliche Bereiche unseres Siedlungsraumes und damit auch die dort lebenden Bewohner werden durch Naturgefahren bedroht. Infolge des Wirtschaftswachstums, des Fremdenverkehrs und einer starken Zunahme der Bevölkerung im alpinen Bereich sind nunmehr Siedlungen, Betriebsstätten und Verkehrsträger immer weiter in die Gefahrenbereiche der Wildbäche und Lawinen vorgedrungen.

Um nun den Einsatz der für Wildbach- und Lawinenverbauungen und damit auch zur Sicherung des Lebensraumes zur Verfügung stehenden Mittel optimal zu gestalten und den befassten Behörden einen Überblick über die zur Besiedelung ungeeigneten Gebiete zu geben, wurde eine Kartierung der in der Natur vorhandenen Gefahrenbereiche notwendig. Nur wenn diese Naturgefahren bekannt sind, besteht die Möglichkeit, entweder durch aktive Maßnahmen einen Schutz für einen Bereich zu erlangen oder durch passive, raumplanerische Eingriffe die Siedlungstätigkeit in weniger oder möglichst nicht gefährdete Bereiche zu lenken.

Demnach bilden die Gefahrenzonenpläne nicht nur eine Grundlage für die Projektierung, Durchführung und Reihung von Maßnahmen des Forsttechnischen Dienstes für Wildbach- und Lawinenverbauung, sondern vor allem auch für Planungen auf den Gebieten der Raumplanung, des Bauwesens und des Sicherheitswesens (im Zusammenhang mit Evakuierungen, Verkehrsbeschränkungen).

Die Erstellung von Gefahrenzonenplänen für Wildbäche und Lawinen ist im § 11 des Forstgesetzes i.d.g.F. (BGBL. NR. 440/1975) und der Verordnung des Bundesministers für Land- und Forstwirtschaft vom 30. Juli 1976 über die Gefahrenzonenpläne (BGBL. NR. 436/1976) geregelt. Für die Erstellung der Gefahrenzonenpläne sind die Dienststellen des Forsttechnischen Dienstes für Wildbach- und Lawinenverbauung gemäß Gesetz zuständig. Diesem gesetzlichen Auftrag ist für alle Gemeinden nachzukommen, in denen der raumrelevante Bereich (darunter sind jene Flächen zu verstehen, die derzeitigem oder künftig möglichem Bauland vorbehalten sind, sowie Freiland mit besonderer Nutzung wie Campingplätze, Sportplätze, Schwimmbäder, Festzeltplätze und Parkplätze) durch Wildbäche oder Lawinen gefährdet ist, oder Bereiche vorliegen, für die eine besondere Art der Bewirtschaftung oder deren Freihaltung für spätere Schutzmaßnahmen erforderlich sind.

Die Gefahrenzonen für Wildbäche und Lawinen werden unter Zugrundelegung eines Ereignisses mit einer Wiederkehrwahrscheinlichkeit von ca. 150 Jahren (Bemessungsereignis) ausgeschieden. Neben diesen Gefahrenzonen werden auch noch "Blaue Vorbehaltsbereiche" sowie "Violette und Braune Hinweisbereiche" ausgewiesen. Die "Blauen Vorbehaltsbereiche" sind jene Bereiche, welche für die Durchführung von technischen und forstlich-biologischen Maßnahmen der Dienststellen sowie für die Aufrechterhaltung der Funktionen dieser Maßnahmen benötigt werden oder zur Sicherung einer Schutzfunktion oder eines Verbauungserfolges in einer besonderen Art zu bewirtschaften bzw. zu erhalten sind. Die "Braunen Hinweisbereiche" sind jene Bereiche, hinsichtlich derer anlässlich von Erhebungen festgestellt wurde, dass sie vermutlich anderen, als von Wildbächen und Lawinen hervorgerufenen Naturgefahren, wie Steinschlag oder nicht im Zusammenhang mit Wildbächen oder Lawinen stehenden Rutschungen und Überflutungen, ausgesetzt sind. Die "Violetten Hinweisbereiche" sind jene Bereiche, deren Schutzfunktion von der Erhaltung der Beschaffenheit des Bodens oder Geländes abhängt.

Der Gefahrenzonenplan ist ein naturgefahrenbezogenes Planungsinstrument (forstlicher Raumplan) insbesondere zur abstrakten, flächenhaften Beschreibung und Darstellung des abgestuften Gefährdungsgrades durch Wildbäche oder Lawinen. Der Gefahrenzonenplan basiert auf einer umfassenden Gefahrenbewertung und mit der Ausscheidung der Gefahrenzonen wird ein mit den natürlichen Gegebenheiten einer Landschaft verbundener Sachverhalt kartiert. Der Gefahrenzonenplan ist auch "eine sachverständig und unter Einhaltung bestimmter Publizitätserfordernisse erarbeitete Art von Gutachten mit Prognosecharakter" und keine (Rechts-)Verordnung (VwGH, 1995).

Neben dem Hallstätter Mühlbach treten noch eine Vielzahl an weiteren Gefährdungen (Lawinen, Steinschlag, Rutschungen) im Gemeindegebiet von Hallstatt auf, was sich im Gefahrenzonenplan der WLV eindrucksvoll widerspiegelt.

#### Die Revision des Gefahrenzonenplans für das Marktgemeindegebiet von Hallstatt

Aufgrund der hohen Gefährdungslage durch Naturgefahren im Gemeindegebiet von Hallstatt wurde schon 1975 mit der Erstellung eines Gefahrenzonenplanes (GZP) durch die WLV begonnen (Abb. 7). Dieser wurde am 25. Oktober 1979 mit BMLF-Zahl: 52.242/05-V/B6/76 ministeriell genehmigt (GZP, 1975). Die darin ausgewiesenen Wildbach- und Lawinengefahrenzonen sowie Vorbehaltsbereiche fanden sodann Eingang in den ersten Flächenwidmungsplan der Marktgemeinde Hallstatt.

Der überwiegende Teil des Gemeindegebietes von Hallstatt ist durch Stein- und Blockschläge aus den steilen Hangbereichen gefährdet. In diesem ersten GZP wurden gravitative Naturgefahren jedoch nur dahingehend berücksichtigt, als das für die Steilbereiche Vorbehaltsflächen hinsichtlich Beschaffenheit des Geländes ausgewiesen wurden. Eine Darstellung der Steinschlaggefährdung (und damit einhergehend mögliche Ereignis-Reichweiten) als Brauner Hinweisbereich erfolgte zu diesem Zeitpunkt noch nicht.







Eine Revision des Gefahrenzonenplans ist nach den forstgesetzlichen Bestimmungen "im Falle der Änderung der Grundlagen oder ihrer Bewertung" durchzuführen, möglichst aber nach einem Zeitraum von 15 Jahren, wobei die eingetretenen Änderungen zusammengefasst zu berücksichtigen sind. Eine Änderung der Grundlagen ist meist nach Durchführung von Verbauungsmaßnahmen gegeben oder ergibt sich im Laufe der Jahre durch die sich ändernde Bausubstanz. Änderungen der Bewertung der naturräumlichen Gegebenheiten für die Ausscheidung von Gefahrenzonen, Vorbehaltsflächen und Hinweisbereichen ergeben sich durch die laufenden Erfahrungen und zur Verfügung stehenden, technischen Hilfsmittel (Kartengrundlagen, Aufnahme- und Bewertungsmethoden, Simulationen etc.).

Zwischen 1975 und 1994 wurden oberhalb des Marktes von Hallstatt umfangreiche Lawinen- und teilweise auch Steinschlagsicherungsmaßnahmen seitens der Wildbach- und Lawinenverbauung umgesetzt. Dies führte aufgrund der geänderten Gefahrensituation (Verminderung der Lawinengefährdung) sowie besserer Daten- und Kartengrundlagen zur 1. Revision des Gefahrenzonenplans im Jahr 1998 (genehmigt mit Zahl: 52.242/25-VC6a/98 vom 25.10.1998) (GZP, 1998). Hier wurden bereits umfangreiche Braune Hinweisbereiche ausgeschieden und der massiven Steinschlaggefährdung für das Marktgemeindegebiet von Hallstatt Rechnung getragen.

Seit der Einführung von digitalem Kartenmaterial bzw. der EDV im Allgemeinen ergeben sich laufend Änderungen in den Kartiergrundlagen (Vor-

#### Abb. 8.

Vorentwurf der 2. Revision des Gefahrenzonenplans der WLV für das Marktgemeindegebiet von Hallstatt (Stand: 2017).

handensein von Orthofotos, Laserscandaten etc.). Weiters haben sich seit der 1. Revision Änderungen in der Bewertung der Grundlagen ergeben, welche sich im Allgemeinen auf neu gewonnene Erfahrungen oder wissenschaftliche Erkenntnisse stützen (z.B. Änderung von Kriterien für die Gefahrenzonenausweisung, "RICHTLINIE FÜR DIE GEFAHRENZONENPLANUNG" aus 2007 i.d.g.F. 2016). Diese Gründe und das Katastrophenhochwasser im Hallstätter Mühlbach aus dem Jahr 2013 führten dazu, den Gefahrenzonenplan der WLV für das Marktgemeindegebiet von Hallstatt einer 2. Revision zuzuführen (GZP, 2017; Abb. 8).

Die größte Änderung stellt hier die Bewertung und Darstellung der gravitativen Naturgefahren, insbesondere Steinschlag, dar. Zur Erfassung des Steinschlagrisikos wurden über Auftrag der Wildbach- und Lawinenverbauung seitens der Geologischen Bundesanstalt umfangreiche Untersuchungen im Gemeindegebiet von Hallstatt durchgeführt. Diese Ergebnisse wurden in den derzeit vorliegenden Revisionsentwurf eingearbeitet und es wurde hier versucht, auf Basis der Technischen Richtlinie für die Wildbach- und LAWINENVERBAUUNG (2015) und der ÖROK-Schriftenreihe Band 193 (ÖROK, 2015) eine differenzierte Gefahrendarstellung für die Braunen Hinweisbereiche "Steinschlag" vorzunehmen. Hierbei erfolgt eine Differenzierung in der Intensitätsdarstellung der Einwirkung. Als Differenzierungsmerkmal bzw. Kriterium wurde die Energiehöhe ≤ 100 kJ = Braun; > 100 kJ = Braun intensiv herangezogen.

Mit einer Vielzahl an Erhebungs- und Auswertemethoden sowie parzellenscharfer Ausweisung der Gefährdungssituation wird durch die Revision des Gefahrenzonenplans ein Instrument geschaffen, dass einerseits der WLV selbst als Grundlage für die Projektierung, Durchführung und Reihung von Schutzmaßnahmen dient und andererseits der Marktgemeinde Hallstatt als unverzichtbares Hilfsmittel für Planungen auf den Gebieten der Raumplanung, des Bauwesens und des Sicherheitswesens dient.

#### Literatur

- Косн, G.A. (1884): Über die Ursachen der Wildbach-Verwüstungen in Hallstatt. – Monatsblätter des Wissenschaftlichen Club in Wien, **1884**, 49–56, Wien.
- ÖROK (2015): Risikomanagement für gravitative Naturgefahren in der Raumplanung. – ÖROK Schriftenreihe, Materialienband Nr. **193**, Wien.
- Роковлу, A. (1885): Motiven Bericht zum Detail-Projekte über die systematische Verbauung und dauernde Beruhigung des Mühlbaches am Hallstätter Salzberge. – Unveröffentlichter Bericht des Forsttechnischen Dienst für Wildbach- und Lawinenverbauung, Gebietsbauleitung Oberösterreich West, Bad Ischl.
- SIMONY, F. (1889–1895): Das Dachsteingebiet. Ein geographisches Charakterbild aus den österreichischen Nordalpen. Nach eigenen photographischen und Freilandaufnahmen illustriert und beschrieben. – IV + 152 S., Wien (Ed. Hölzel).

#### Rechtsmaterialien und Gesetze

- BGBL. NR. 440/1975: Bundesgesetz vom 03.07.1975, mit dem das Forstwesen geregelt wird (Forstgesetz 1975), zuletzt geändert durch BGBL I Nr. 56/2016. https://www.ris.bka.gv.at/GeltendeFassung.wxe?Abfrage=-Bundesnormen&Gesetzesnummer=10010371 (Bundesrecht konsolidiert: Gesamte Rechtsvorschrift für Forstgesetz 1975, Fassung vom 27.04.2017).
- BGBL. NR. 436/1976: Verordnung des Bundesministers für Land- und Forstwirtschaft vom 30.07.1976 über die Gefahrenzonenpläne.

https://www.ris.bka.gv.at/GeltendeFassung.wxe?Abfrage=-Bundesnormen&Gesetzesnummer=10010379 (Bundesrecht konsolidiert: Gesamte Rechtsvorschrift für Gefahrenzonenpläne, Fassung vom 27.04.2017).

- GZP (1975): Gefahrenzonenplan für das Marktgemeindeamt von Hallstatt; ministeriell genehmigt am 25.10.1979 mit BMLF-Zahl: 52.242/05-V/B6/76.
- GZP (1998): 1. Revision des Gefahrenzonenplanes für das Marktgemeindeamt von Hallstatt; ministeriell genehmigt mit Zahl: 52.242/25-VC6a/98 vom 25.10.1998.
- GZP (2017): Vorentwurf der 2. Revision des Gefahrenzonenplanes für das Marktgemeindeamt von Hallstatt; unveröffentlicht.
- RGBL. NR. 117/1884: Gesetz vom 30. Juni 1884, betreffend Vorkehrungen zur unschädlichen Ableitung von Gebirgswässern StF: Änderung: BGBl. II Nr. 316/1934 (B d. BReg) BGBl. Nr. 54/1959 (NR: GP VIII RV 594 AB 618 S. 80. BR: S. 142). https://www.ris.bka.gv.at/GeltendeFassung.wxe?Abfrage=-Bundesnormen&Gesetzesnummer=10010161 (Bundesrecht konsolidiert: Gesamte Rechtsvorschrift für Unschädliche Ableitung von Gebirgswässern, Fassung vom 27.04.2017).
- RICHTLINIE FÜR DIE GEFAHRENZONENABGRENZUNG IN DER WILD-BACH- UND LAWINENVERBAUUNG (2016): GZP-RL WLV; genehmigt mit Zahl BMLFUW-LE.3.3.3/0013-III/5/2016, Fassung: August 2016.
- RICHTLINIE FÜR DIE GEFAHRENZONENPLANUNG (2007): genehmigt mit Zahl BMLFUW-LE.3.3.3/0185-IV/5/2007, Fassung vom 04.02.2011.

https://www.bmlfuw.gv.at/forst/wildbach-lawinenverbauung/richtliniensammlung/GZP.html (abgerufen am 31.05.2017).

- TECHNISCHE RICHTLINIE FÜR DIE WILDBACH- UND LAWINENVERBAU-UNG (2015): überarbeitete Fassung, erlassen mit Zahl: BML-FUW-LE.3.3.5/0246-III/5/2014 vom 25.03.2015. https://www.bmlfuw.gv.at/forst/wildbach-lawinenverbauung/richtliniensammlung/Tech2015.html (abgerufen am 31.05.2017).
- VwGH (1995): Erkenntnis, Geschäftszahl: 91/10/0090. https://www.ris.bka.gv.at/Dokument.wxe?Abfrage=Vwgh&-Dokumentnummer=JWT\_1991100090\_19950327X00 (abgerufen am 27.04.2017).

### Multidisziplinäre Grundlagenerhebung als Basis für die Implementierung eines Monitoringsystems am Plassen

Sandra Melzner (1), Michael Moser (2), David Ottowitz (1), Jürgen Otter (3), Michael Lotter (1), Klaus Motschka (1), Erich Imrek (3), Ingeborg Wimmer-Frey (1), Joachim Rohn (2) & Alexander Preh (4)

#### Einleitung

Im Rahmen des Schwerpunktprogrammes Georisiken Österreich (GEORIOS) der Geologischen Bundesanstalt (GBA) wird in einem Teilprojekt die geologische Grunddisposition verschiedener tektonischer Einheiten der Ostalpen gegenüber (Steinschlag/Felssturz) Sturzprozessen untersucht. Im Fokus steht die Entwicklung von Bearbeitungsstrategien (hinsichtlich unterschiedlicher Fragestellungen und Zielsetzungen) im Bereich der präventiven Naturgefahrenforschung. Stellvertretend für die Nördlichen Kalkalpen wurde das Gemeindegebiet von Hallstatt als Pilotstudiengebiet ausgewählt. Dieses Gebiet ist durch sehr heterogene geologische und geotechnische Verhältnisse gekennzeichnet (SCHÄFFER, 1982; MANDL et al., 2012, 2017; MANDL, 2017), was sich in einer räumlich variablen hohen Anfälligkeit für unterschiedlichste Massenbewegungstypen äußert (Merkl, 1989; Lotter, 2001; Ehret, 2002; Rohn et al., 2005; MELZNER, 2017a-c).

Eine multidisziplinäre Bearbeitungsstrategie wurde gewählt, um die geologische und geotechnische Grunddisposition am Plassen hinsichtlich des räumlich-zeitlich variablen Rutsch- und Felssturzpotenzials zu untersuchen. Die Methoden umfassten Geländekartierungen, Probennahme und Laboranalysen zwecks Bestimmung von Bodenkennwerten in aktiven Prozessbereichen, Kartierung der Lithologie und Beurteilung von Tiefenstrukturen mittels geophysikalischer Erkundungsmethoden (Aerogeophysik und Geoelektrik), Bestimmung relativer Bewegungsraten durch Präzisionsmaßbandmessungen (MOSER et al., 2014; MOSER & ROHN, 2015), Bestimmung absoluter Bewegungsraten mittels geodätischer Vermessung (OTTER, 2015; OTTER et al., 2017), Ereignisdokumentation mittels Fotomonitoring, Kartierung und Zeugenbefragung und die Untersuchung/Rückrechnung der Reichweiten von Felsstürzen mittels des dreidimensionalen numerischen Codes DAN3D (РREH, 2017).

#### Tektonische und geologische Grunddisposition

Der Plassen liegt als spröde Deckplatte aus Plassenkalk fast zur Gänze diskordant auf einem überwiegend weichen Sockel, der im Süden und Südosten durch das Haselgebirge, Werfener Schichten und Allgäu-Formation (Allgäuschichten), im Nordwesten und Nordosten aus Hallstätter Kalk (Hellkalk, Karnium bis Norium) und Steinalmkalk (Anisium) gebildet wird (SCHÄFFER, 1982; MERKL, 1989; MANDL et al., 2012). Nördlich des Schiechlingkamms stößt der Gutensteiner Kalk im Bereich einer Abschiebung (Rötengraben-Bruch) an Dachsteinkalk. Südlich des Plassen grenzt das Haselgebirge im Bereich des Rossalm-Bruchs an Hallstätter Kalk, Gutensteiner Kalk und Dachsteinkalk (MANDL, 2017: Abb. 3).

Der Plassen hat mit 1.953 m ü. A. seine höchste Erhebung am Plassengipfel und ist durch ein sehr steiles und schroffes Relief gekennzeichnet, welches in den meisten Bereichen Hangneigungen > 50 Grad aufweist. Nördlich und östlich des Plassengipfels befinden sich flachere Bereiche in Form eines Sattels bzw. eines Hochkars mit Schutthalden.

Die im Wesentlichen durch das mechanische System "Hart auf Weich" (POISEL & EPPENSTEI-NER, 1988, 1989) (Abb. 1) verursachte plastische Deformation des Untergrundes und die laterale Driftbewegung führen zur Ausbildung markanter Bruchstrukturen in der spröden Deckplatte mit einer starken Zerlegung des Plassenkalks (Abb. 2, 3).

Die Ausbildung des Trennflächengefüges hat einen entscheidenden Einfluss auf die Prozessdisposition und den Auflockerungsgrad am Plassen-Massiv. Der Plassenkalk weist eine große Varianz

<sup>(1)</sup> Geologische Bundesanstalt, Neulinggasse 38, 1030 Wien. sandra.melzner@geologie.ac.at

<sup>(2)</sup> GeoZentrum Erlangen, Lehrstuhl für Angewandte Geologie, Schlossgarten 5, 91054 Erlangen, Deutschland.

<sup>(3)</sup> Bundesamt für Eich- und Vermessungswesen (BEV), Schiffamtsgasse 1–3, 1020 Wien.

<sup>(4)</sup> Technische Universität Wien, Institut für Geotechnik, Karlsplatz 13, 1040 Wien.



in der Ausbildung des Trennflächengefüges auf, von dickbankig bis gänzlich ungebankt und/oder feinklüftig zerlegt. Am Vorderen Plassen ist eine deutliche Bankung als Wechsel von dünneren und dickeren Bänken mit gleichmäßig nach Süden gerichteter Vor-Wölbung erkennbar. In Richtung Plassengipfel setzt sich diese Bankung fort, allerdings wechselt die Einfallsrichtung von Süden nach Südsüdost bzw. Südost. Im Bereich der Lahngangkogel-Scholle ist der Plassenkalk vorwiegend massig ausgebildet und durch tiefgreifende

#### Abb. 1. (oben)

Geotechnische Eigenschaften der lithologischen Einheiten: A = spröder, stark geklüfteter Plassenkalk,

- B = duktiler, toniger Auslaugungshorizont des Haselgebirges,
- C = weitgehend unverwittertes Haselgebirge,
- D = tonige und sandige Werfener Schichten.

Fotos: Sandra Melzner (GBA – GEORIOS Datenbank).

Abb. 2. (unten)

Der westliche Bereich des Plassen-Massivs ist durch mehrere, dominante Bruchstrukturen zerschnitten. Auf Basis des Trennflächengefüges konnten vier geotechnische Homogenbereiche (Bereich 1–4) abgegrenzt werden. Foto: Sandra Melzner (GBA – GEORIOS Datenbank).



hangeinwärts fallende Zerrspalten/-gräben zerschnitten. Im Bereich der "Eishöhle" (Abb. 3) ist die Bankung stark verfaltet und eine Bankungsfuge ist gravitativ zu einer Zerröffnung erweitert. Etwas nördlich vom Plassengipfel ist die Bankung weniger deutlich ausgebildet und weist eine größere Spannbreite in der Orientierung auf: die Einfallswinkel schwanken zwischen 15 und 60 Grad mit Einfallen in nordwestlicher bzw. nordöstlicher Richtung (zwischen 290 und 30 Grad). Im Norden des Massivs beträgt das Einfallen der Bankung zwischen 30 und 60 Grad in östlicher bis südöstlicher Richtung. Auf der nordöstlichen Seite des Plassen fällt die Bankung mittelsteil bis steil (50–80 Grad) nach Westen bzw. Osten ein.

Ein weiterer, den Gebirgsverband schwächender Faktor ist die korrosive Erweiterung von Kluftsystemen oder Zerrspalten durch eintretende Niederschlagswässer. Eine Vielzahl von Dolinen/ Karren konnten sich in den stark geklüfteten Bereichen nördlich des Plassengipfels und im Bereich der südöstlich der Lahngangkogel-Scholle gelegenen Störungen ausbilden. Einschaltungen von tonigen Kluftfüllungen, besonders entlang von Störungsflächen, schwächen den Gebirgsverband des Plassenkalks zusätzlich.

#### Versagensmechanismen

In den südexponierten Einhängen des Plassen liegt der Plassenkalk direkt auf dem Haselgebirge (Abb. 2) auf, wodurch es zu hohen Zugspannungen an der Basis des Plassenkalks und dessen starker Zerlegung v.a. im Randbereich der Deckplatte kommt (Prozess "Driften"). Dies äußert sich in mächtigen Sturzhalden und Schutt-/Schwemmkegeln. Letztere sind besonders im Bereich des Ausstreichens dominanter Bruchstrukturen (z.B. "Weitscharte" und "Griesputzer Graben") ausgebildet. Einzelne, größere Sturzblöcke weisen jedoch bedeutend weitere Reichweiten auf, die über die Begrenzung der Sturzhalden hinausgehen. Die Raumlage des Trennflächengefüges im Verschnitt mit der Hangoberfläche führt zur Ausbildung unterschiedlicher Versagensmechanismen (für Details siehe MELZNER, 2017c): Die Südseite der Lahngangkogel-Scholle (Bereich 1 in Abbildung 2) ist im Randbereich stark durch Bergzerreißungsprozesse aufgelockert. Das Versagen findet zum einen in Form eines aufrechten, translatorischen Abfahrens der turm- und tafelförmi-

Abb. 3.

Versagensmechanismen im Bereich der süd- und ostexponierten Einhänge des Plassen-Massivs. Foto: Sandra Melzner (GBA – GEORIOS Datenbank).



gen Großkluftkörper statt. Zum anderen scheint sich im Falle der abgelösten Felsmasse (MELZNER, 2017c: Abb. 5) ein Rotationsanbruch im Unterlager (Sockel) ausgebildet zu haben, da eine hangwärtige Rotationsbewegung der auflagernden Großkluftkörper erkennbar ist. Die Sturzhalden in diesem Bereich sind vergleichsweise geringmächtig ausgebildet. Die Bankung im Bereich 2 (Abb. 2) erstreckt sich vom Graben unterhalb des Plassengipfels bis zu der Hauptabrisskante am Lahngangkogel ("Griesputzer Graben"), fällt steil nach SSE ein und weist teilweise geöffnete Bankungsfugen aufgrund einer gravitativ bedingten Auflockerung auf. Dominanter Versagensmechanismus ist hier das translatorische Abgleiten von Felsschollen. Felsstürze und Steinschläge finden vorwiegend im Bereich der Gräben bzw. Rinnen statt. Der gesamte Hangbereich zwischen dem Vorderen Plassen und dem Plassengipfel (Bereich 3 in Abb. 2) scheint abgesackt zu sein. Dies äußert sich in einer deutlich (gestuften) Abrisskante (mit Felssturzereignis 2007), einem hohen Auflockerungsgrad (Zerrgräben) im oberen Hangbereich und Vorwölbung des Felswandfußes (mit aktuellen Felsstürzen 2013-2016) (Abb. 3; siehe auch Abbildungen 3 und 4 in MELZNER, 2017c). Aufgrund des morphologischen Erscheinungsbildes und der kartierten Strukturen könnte es sich hier um einen sogenannten «flexural rock slump» nach KIEFFER

(1998) handeln. Als weiterer möglicher zugrundeliegender Versagensmechanismus ist der mit dem «ruck slumping» verwandte Mechanismus "kink band slumping" ("Knickbandsackung", MELZNER, 2017c: Abb. 4) anzuführen, allerdings ist die dafür typische S-förmige Verformung der Felslamellen im unteren Hangbereich nicht aufgeschlossen. Es scheinen sich jedoch zwei Bruchflächen ausgebildet zu haben und das lamellenartige Einsinken entlang der Bankung in den weichen Untergrund sprechen für diesen Versagenstyp.

Der Vordere Plassen (Bereich 4 in Abbildung 2) ist durch eine markante, flexurartige Wölbung der Bankung in Richtung Süden gekennzeichnet. Im Bereich der stärksten Wölbung hat sich normal zur Hangoberfläche eine Scherfläche ausgebildet, die Ausdruck des bruchhaften Versagens des betreffenden Bereichs ist.

In südöstlicher Richtung ist der Plassen vom Gipfel (1.953 m) bis in eine Höhe von ca. 1.390 m ü. A. von sechs vorwiegend Nordost–Südwest streichenden Abrisskanten durchzogen (AK1–6 in Abbildung 3). Zwischen Plassengipfel und Lahngangkogel bilden vornehmlich vier Trennflächenscharen eine Grabenstruktur aus (MELZNER, 2017c: Abb. 6). Der gesamte Grabenbereich ist durch einen hohen Auflockerungsgrad gekennzeichnet. Dies äußert sich in diversen (frischen) Ausbruchnischen und der Ausbildung einer mäch-


tigen Sturzhalde innerhalb der sogenannten "Eisgrube" und dem darunterliegenden Hangbereich (Abb. 3, 4). Auf der "Lahngangkogel-Scholle" und der darunterliegenden "Wasserberg-Scholle" haben sich zudem eine Vielzahl von nordost-südwest streichenden Extensionsstrukturen und zwei nach Süden exponierte Abrisskanten ausgebildet. Diese orthogonal zum Hang einfallenden Trennflächen (Abb. 4) haben aufgrund ihrer Raumstellung eine bedeutende Verringerung der Zugfestigkeit innerhalb der karbonatischen Plassen-Deckplatte zur Folge, weshalb diese Trennflächen sich im Bereich der Lahngangkogel-Scholle größtenteils zu Zerrspalten und Zerrgräben (mit großen Öffnungsweiten) entwickelt haben. Auf 1.490 m ü. A. bildet Abrisskante AK5 (Abb. 3, 4) den kinematischen Übergangsbereich vom Driften zum Gleiten (vgl. auch MELZNER, 2017c: Abb. 6). Etwa 10 m oberhalb dieser Abrisskante hat sich bereits eine weitere initiale Abrisskante ausgebildet (Abb. 4), die zum Teil frische Steinschlagabbrüche aufweist. In diesem Bereich findet ein Überkippen der saiger stehenden Trennflächen statt, weshalb sie wahrscheinlich als Gleitflächen mitbenutzt werden können.

Das Trennflächengefüge im Bereich der Wasserberg-Scholle weist auf eine Rotationsbewegung der gesamten Scholle in nordöstlicher Richtung hin. Die untere Hälfte der "Wasserberg-Scholle" ist durch einen Zerrgraben tiefgreifend zerschnit-

Abb. 5.

Sturzprozesse lieferten das Material für einen Blockgletscher (A; rote Umrandung) im Bereich der nordostexponierten Einhänge (abgelöste Felssschollen) und für Moränenwälle/-ablagerungen (B; rote Umrandung) in den nordwestexponierten Einhängen des Plassen Massivs. Fotos: Sandra Melzner (GBA – GEORIOS Datenbank). ten, der in Zukunft eine Verbindung nach Norden bis zur Abrisskante AK5 darstellen könnte. Die Abrisskante AK6 setzt sich nach Norden außerhalb der Plassenkalk-Deckplatte im Auslaugungshorizont des Haselgebirges fort und stellt die oberste Begrenzung eines großräumigen, instabilen Hangbereichs dar (MELZNER, 2017c: Abb. 7, 8).

Die nordöstlichen bzw. nordwestlichen Einhänge des Plassen-Massiv weisen mächtige Sturzhalden auf (Abb. 5), die im Bereich der Schiechlingalm in eine Blockgletscherablagerung übergehen (Abb. 5a) bzw. sich im Bereich der Schreieralm mit mächtigen Moränenablagerungen vermischen (Abb. 5b).

Der nach Norden Richtung Schiechlingkogel abfallende Rücken ist durch jeweils zwei antithetische Brüche nach Südost und zwei Abrisskanten nach Nordwest zerlegt. Morphologisch sehr markant ist ein breiter Zerrgraben, der sich in einer N–S verlaufenden Störung ausgebildet hat. Er bildet zugleich eine Abrisskante für eine Felsscholle, die sich in westsüdwestlicher Richtung vom Gebirge abtrennt und durch Zerreißungen und Felsstürze desintegriert wird.

#### Aktivität und Gefahrenpotenziale

Diverse Steinschlag- und Felssturzereignisse im Bereich der südexponierten Einhänge des Plassen geben Hinweise auf (rezente) Felsbewegungen: im Bereich des "Flexural rock slumps" (Bereich 3 in Abbildung 2) löste sich im Juni 2007 bei der dortigen Abrisskante ein Felssturz. Im vorgewölbten Stirnbereich wurden im Zeitraum Dezember 2013 bis September 2016 mindestens 28 größere Steinschlag- und Felssturzereignisse dokumentiert (MELZNER, 2017c: Abb. 3). Dieser Hangbereich ist des Weiteren von Steinschlagrinnen durchzogen,



die frisches Sturzmaterial enthalten. Die aufgelockerte Felsmasse hat eine Kubatur von > 1 Mio. m3, was bei einem gesamthaften Abbruch einen Sturzprozess in der Größenordnung und der Mobilität eines Bergsturzes auslösen würde. Die starke Wölbung der Schichtung, die deutlich ausgebildete, steil orthogonal zur Schichtung stehende Scherkluft und der aktive Steinschlag an der Front geben Hinweise darauf, dass eine größere Masse unterhalb des Vorderen Plassen (Bereich 4 in Abbildung 2) spontan versagen könnte. Die potenzielle Sturzmasse hätte eine etwas größere Kubatur als der zuvor beschriebene Bereich 3, was also ebenfalls einem Bergsturz entsprechen würde. Seitens der GBA wurde aufgrund des hohen Felssturz-/Bergsturzpotenzials am Gegenhang ein Foto-Monitoring installiert, damit die Sturzaktivität permanent aufgezeichnet wird.

Im Bereich der Südseite der Lahngangkogel-Scholle (Bereich 1 in Abbildung 2) treten rezente Steinschlag- und (flachgründige) Rutschungsprozesse auf der tiefgreifenden Fels-/ Schuttrutschung auf. Relative Bewegungsmessungen (MOSER et al., 2014; MOSER & ROHN, 2015) zeigen eine relative Divergenz der abgelösten Felstürme mit mehr als 1 cm pro Jahr. Ein Abschnitt zeigt hingegen in beiden Messperioden relative Konvergenz, was auf eine schnellere Bewegung des rückwärtigen Gebirges ("Nachrücken") in südöstlicher Richtung hinweist (Details in MELZNER, 2017c).

Im Bereich der Ostflanke des Plassen ereignete sich im Mai 1978 an der Roten Wand (MELZNER, 2017c: Abb. 9) ein Felssturz, der die Forststraße verschüttet hat. Im Jahr 1981 haben sich an fünf Tagen (Mai bis Oktober) weitere Felsstürze dort ereignet. Am Lahngangkogel ereignete sich im Zeitraum Oktober 1984 bis Mai 1985 (Abb. 3) ein sehr großer Felssturz in die "Eisgrube". Interessanterweise lösten sich kurze Zeit später ein weiterer, sehr großer Felssturz an der Roten Wand, was einen Rückschluss auf eine zusammenhängende Aktivität des gesamten Hangbereichs geben könnte. Absolute Bewegungsmessungen mittels geodätischer Festpunktvermessung zeigen, dass die Bewegungen der Festpunkte am Plassen/Lahngangkogel und der Wasserberg-Scholle teilweise bis mehrere Meter in den entsprechenden Messzeiträumen (OTTER et al., 2017; MELZNER, 2017c) betragen. Die räumliche Ausrichtung der "Wasserberg-Scholle" und einer (rezenten) Abrisskante im darunterliegenden Bereich kennzeichnen

eine Bewegungsrichtung nach Nordosten, was hinsichtlich einer Abschätzung eines potenziellen Geschiebeeintrags in den Mühlbach relevant sein könnte.

Die Abrisskante AK5 (Abb. 3; MELZNER, 2017c: Abb. 6-8) setzt sich nach Norden im Auslaugungshorizont des Haselgebirges fort und stellt die oberste Begrenzung eines großräumigen, instabilen Hangbereiches dar. Zentrales Element in diesem Bereich sind zwei bereits abgelöste Felsschollen, die (zusammen mit der darüber liegenden Ostflanke des Plassen) auf den darunterliegenden Hangbereich schieben. Weitere disponierende Faktoren stellen die Auflast der mächtigen Sturzakkumulation und die geomorphologische Form des Hangbereiches (hervorspringender "Sporn", MELZNER, 2017c: Abb. 7) dar. Diese drei Faktoren führen zur Ausbildung einer Vielzahl von Abrisskanten, Zerrspalten und Zerrgräben unterschiedlichster Entwicklungsstadien und zum Absacken ganzer Hangbereiche, die als Rutschungspotenzial zur Verfügung stehen könnten.

#### Fazit

Die südexponierten Einhänge des Plassen weisen ein hohes Felssturz- bis Bergsturzpotenzial und die ostexponierten Einhänge ein großes Rutschungspotenzial auf. Eine relativ hohe Steinschlagaktivität ist quasi im gesamten Plassen-Massiv vorhanden. Auf Basis der erarbeiteten Ergebnisse hinsichtlich potenziell instabiler Bereiche könnte ein punktuelles Monitoringsystem an neuralgischen Punkten implementiert werden, das kontinuierlich Daten aufzeichnet und automatisch verschickt. Für ein Monitoring mittels einer Terrestrial Laserscan Vermessung wäre die Einrichtung eines übergeordneten Bezugsystems sehr zu empfehlen. Hierzu ist eine detaillierte Planung von Scan- und Reflektorstandpunkten unter Berücksichtigung geodätischer Aspekte einer Netzplanung (Genauigkeit, Zuverlässigkeit, Geometrie, Messmittel, Sichtverbindung) notwendig, um signifikante geometrische Veränderungen (Bewegungsraten, Kubaturen) langfristig detektieren zu können (SCHILLER & MELZNER, 2017). Auswirkungen eines potenziellen Großereignisse im Bereich der südexponierten Einhänge auf die darunterliegenden Fließ- und Gleitprozesse könnten mittels einer weiteren DAN3D-Berechnung ermittelt werden.

#### Dank

Stefan Pfeiler, Stefanie Gruber, Birgit Jochum, Ingrid Schattauer und Edmund Winkler (alle GBA); Norbert Maier (ObF); Wolfgang Gasperl, Michael Schiffer und Stefan Janu (alle WLV), Norbert Maier (ÖbF), Salinen AG, Klaus Reisenauer (Bewohner Hallstatt), Gerhard Schäffer (ehemaliger GBA-Mitarbeiter), Hans Jörgen Urstöger und Karl Wirobal (Museum Hallstatt), Fritz Idam (Bewohner von Hallstatt) und Thomas Untersberger (ehemals Saline AG).

#### Literatur

- EHRET, D. (2002): Geotechnische Untersuchungen und GIS-gestützte Erfassung der Massenbewegungen zwischen Hallstatt und Plassen. – Unveröffentlichte Diplomarbeit, 136 S., Erlangen.
- KIEFFER, D.S. (1998): Rock slumping: A Compound Failure Mode of Jointed Hard Rock Slopes. – PhD thesis, Berkeley.
- LOTTER, M. (2001): Geotechnische und kinematische Untersuchungen an instabilen Felshängen im alpinen Raum. – Unveröffentlichte Dissertation, 324 S., Erlangen.
- MANDL, G.W. (2017): Vom Traunstein zum Dachstein Geologie im Querschnitt. – Tagungsband zur Arbeitstagung der GBA 2017, 22–28, Wien.
- MANDL, G.W., BRANDNER, R. & GRUBER, A. (2017): Zur Abgrenzung und Definition der Kalkalpinen Deckensysteme (Ostalpen, Österreich). – Tagungsband zur Arbeitstagung der GBA 2017, 254–255, Wien.
- MANDL, G.W., HUSEN VAN, D. & LOBITZER, H. (2012): Erläuterungen zur Geologischen Karte der Republik Österreich 1:50.000, Blatt 96 Bad Ischl. – 215 S., Geologische Bundesanstalt, Wien.
- MELZNER, S. (2017a): Steinschlag- und Felssturzdisposition im Dachsteinkalk – Versagensmechanismen und Reichweiten. – Tagungsband zur Arbeitstagung der GBA 2017, 126–131, Wien.
- MELZNER, S. (2017b): Ereignis- und Schadenskataster von Sturzprozessen (Steinschlag/Felssturz) in der Gemeinde Hallstatt. – Tagungsband zur Arbeitstagung der GBA 2017, 289–290, Wien.
- MELZNER, S. (2017c) Exkursion 2A (21.06.2017): Rutschungsund Felssturzpotenzial am Plassen. – Tagungsband zur Ar-

beitstagung der GBA 2017, 318-325, Wien.

- MERKL, M. (1989): Geologische und ingenieurgeologische Untersuchungen im Wildbacheinzugsgebiet des Hallstätter Mühlbaches (Oberösterreich). – Unveröffentlichte Diplomarbeit, 95 S., Erlangen.
- MOSER, M. & ROHN, J. (2015): Zur Kinematik Rotes Kögele-Steinbergkogel-Dammwiese. Auswertung der Präzisionsmaßbandstrecken 2014–2015. – Unveröffentlichter Bericht, Erlangen.
- MOSER, M., ROHN, J. & LOTTER, M. (2014): Zur Kinematik Rotes Kögele-Steinbergkogel-Dammwiese. Auswertung der Präzisionsmaßbandstrecken 1987–2014. – Unveröffentlichter Bericht, Erlangen.
- OTTER, J. (2015): Gravitative Massenbewegungen im Bereich Hallstatt – die Grundlagenvermessung als Werkzeug der Gefahrenprävention. – BEV Leistungsbericht, Wien.
- OTTER, J., IMREK, E. & MELZNER, S. (2017): Geodätische Grundlagenvermessung als Werkzeug in der Naturgefahrenanalyse. – Tagungsband zur Arbeitstagung der GBA 2017, 147–152, Wien.
- POISEL, R. & EPPENSTEINER, E. (1988): Gang und Gehwerk einer Massenbewegung Teil 1: Geomechanik des Systems "Hart auf Weich". – Felsbau, 6/4, 189–194, Essen.
- POISEL, R. & EPPENSTEINER, E. (1989): Gang und Gehwerk einer Massenbewegung Teil 2: Geomechanik des Systems "Hart auf Weich". – Felsbau, **7**/1, 16–20, Essen.
- PREH, A. (2017): Analysis and prediction of the runout of rock slides and rock avalanches. Tagungsband zur Arbeitstagung der GBA 2017, 257–258, Wien.
- ROHN, J., EHRET, E., MOSER, M. & CZURDA, K. (2005): Prehistoric and recent mass movements of the World Cultural Heritage Site Hallstatt, Austria. – Environmental Geology, **47**/5, 702–715, Heidelberg.
- SCHÄFFER, G. (1982): Geologische Karte der Republik Österreich 1:50.000, Blatt 96 Bad Ischl. – Geologische Bundesanstalt, Wien.
- SCHILLER, G. & MELZNER, S. (2017): Terrestrial Laser Scanning in den Geowissenschaften – Chancen und Herausforderungen. – Tagungsband zur Arbeitstagung der GBA 2017, 219–221, Wien.

# Geodätische Grundlagenvermessung als Werkzeug in der Naturgefahrenanalyse

JÜRGEN OTTER (1), ERICH IMREK (1) & SANDRA MELZNER (2)

#### Einleitung

Moderne Messverfahren erlauben heute das Monitoring von Bewegungsraten gravitativer Massenbewegungen im Millimeterbereich. Die Beobachtungsdaten erlauben dabei aber meist nur einen Blick auf einen relativ kurzen Zeitraum, eine Abschätzung des Gefahrenpotenzials aus diesen Zeitreihen lässt meist großen Interpretationsspielraum zu. Abhilfe können hier die Festpunkte des Bundesamtes für Eich- und Vermessungswesen (BEV) schaffen, von denen einige Punkte auf eine bis zu hundert Jahre alte Geschichte der Landesvermessung zurückblicken können.

Im Zuge eines Projektes im BEV zur Bestimmung von Koordinaten der Festpunkte im modernen europäischen Bezugssystem ETRS89 werden nicht nur alle bisher gemessenen GPS-Vektoren herangezogen, sondern auch sämtliche seit 1906 gemessenen terrestrischen Beobachtungen, also Richtungs-, Höhenwinkel- und Streckenmessungen. Bei der Auswertung im Bezugssystem ETRS89 werden daraus für jeden Punkt alle verfügbaren Messungen aufbereitet und einem Netzausgleich zugeführt. Widersprüche bei der Berechnung zwischen den einzelnen Messepochen können dabei, nach Ausschluss möglicher Fehlerquellen, einen Hinweis auf eine physikalische Änderung der Punktstabilisierung geben. Analysiert man die Ergebnisse der einzelnen Epochen, kann man daher Rückschlüsse auf eventuelle Bewegungsraten gravitativer Massenbewegungen ziehen, sowie auch deren Größenordnung in Lage und Höhe angeben.

#### Das österreichische Festpunktfeld

Festpunkte sind Punkte mit einer dauerhaften Stabilisierung, welche für Vermessungen aller Art als Bezugspunkte dienen können. Für Pläne im Kataster mit Urkundencharakter ist die Verwendung der nächstgelegenen Festpunkte und derer Koordinaten sogar rechtlich bindend. Der Begriff Festpunkt deutet schon darauf hin, dass die Punkte grundsätzlich als unveränderbar angelegt wurden. Diese Unveränderlichkeit ist aber nicht immer gegeben. Einerseits kommt es zur Beschädigung oder Verlust mancher Punkte durch Fremdeinwirkung, andererseits kann die Punktlage auch durch natürliche Faktoren wie gravitative Massenbewegungen beeinflusst werden.

Vor dem Entstehen der ersten Satellitennavigationssysteme (GNSS) wie GPS wurden die Festpunkte des BEV ausschließlich aus terrestrischen Beobachtungen bestimmt. Dazu zählen hauptsächlich Richtungsmessungen, Höhenwinkel und später, ab den späten 1970er Jahren, auch Streckenbeobachtungen mit elektronischen Distanzmessgeräten. Die Punktbestimmung erfolgte durch Aufbau eines rechenbaren Netzwerks von Festpunkten, eines so genannten Triangulierungsnetzes. Dabei werden von jedem Punkt die Beobachtungsgrößen zu benachbarten Punkten gemessen. Die Festpunkte mussten daher stets so angelegt werden, dass alle notwendigen Sichtungen zu den benachbarten Punkten möglich waren. Während man dazu im Flachland zum Teil auf künstlich geschaffenen Hochständen messen musste, konnten in gebirgigen Regionen direkt die Gipfellagen für den Aufbau des Netzwerkes genutzt werden. Bei der Verdichtung des für die Vermessungsaufgaben interessanteren besiedelten Talgrundes wurden viele Punkte auch in die Berghänge gesetzt, um einerseits die Verbindung zu den Tallagen herstellen zu können und andererseits für Folgemessungen sehr gut einsehbare Punkte zu erhalten. Vor allem diese Punkte in den Hanglagen ermöglichen heute vielfach die Erkennung von gravitativen Massenbewegungen aus Messdaten.

Mit dem Aufkommen satellitengestützter Messverfahren wie GPS war es erstmals möglich, Koordinaten an Triangulierungspunkten abzuleiten, ohne zwingend eine Sichtverbindung zu benachbarten Punkten zu haben. Diese Verfahren lieferten zudem auch eine wesentlich homogenere Genauigkeit in den Koordinatenwerten. Dadurch

<sup>(1)</sup> Bundesamt für Eich- und Vermessungswesen, Schiffamtsgasse 1–3, 1020 Wien. *grundlagen@bev.gv.at* (2) Geologische Bundesanstalt, Neulinggasse 38, 1030 Wien.

konnten auch erstmals die grundsätzlich bekannten Schwächen des historisch gewachsenen Systems der Landesvermessung MGI erkannt werden. Dieses Bezugssystem MGI mit der Abbildung Gauß-Krüger bildet heute noch, bis zu einer geplanten Ablösung durch das europäische System ETRS89, das offizielle und rechtlich vorgegebene Koordinatensystem in der Katastervermessung.

Seit Beginn der 1990er Jahre werden satellitengestützte Messverfahren im BEV eingesetzt und ersetzen mittlerweile vollständig das Messen von Triangulierungsnetzen mit den klassischen Verfahren der Richtungs- und Streckenmessung.

#### Homogenisierung des Festpunktfeldes 1.–5. Ordnung

Derzeit ist die Abteilung Grundlagen des BEV damit befasst, für alle Festpunkte des österreichischen Festpunktfeldes 1.–5. Ordnung, ca. 70.000 Triangulierungspunkte (TP), Koordinaten im System ETRS89 zu bestimmen. Aufgrund der Homogenität dieses modernen Koordinatensystems sprechen wir hier auch von der Homogenisierung des Festpunktfeldes. Diese Arbeiten sind derzeit zu ca. 50 % abgeschlossen, vorwiegend im westlichen Teil von Österreich. Die Arbeiten in Vorarlberg, Tirol und Osttirol sind zur Gänze erledigt, Salzburg und Kärnten sind kurz vor der Fertigstellung. Die Auswertungen in den restlichen Bundesländern werden bis Mitte 2019 abgeschlossen sein.

Grundlage für die Realisierung des europäischen Bezugssystems ETRS89 in Österreich bilden die Permanentstationen des österreichischen Satellitenpositionierungsdienstes APOS (Austrian Positioning Service) (HÖGGERL et al., 2007) sowie eine große Anzahl von Punkten mit GPS-Langzeitbeobachtungen. Insgesamt ergeben ca. 430 Punkte das so genannte österreichische Grundnetz, das als Ausgangsnetz für alle weiteren Punktbestimmungen anzusehen ist. Ein permanentes Monitoring der Realisierung von ETRS89 in Österreich findet über regelmäßige Auswertungen der Permanentstationen von APOS statt (TITZ et al., 2010).

Alle ETRS89-Koordinaten der österreichischen Festpunkte werden von diesem Grundnetz abgeleitet. Etwa die Hälfte aller Triangulierungspunkte (ca. 35.000) wurde von 1989 bis 2012 mit GNSS-Methoden eingemessen. Unter Anwendung differenzieller Messverfahren wurden Vektoren zwischen benachbarten Punkten bestimmt und mit diesen Beobachtungen in einem Netzausgleich Koordinaten abgeleitet. Ausgehend von den Koordinaten der Punkte des Grundnetzes wurden mit dieser Methode ETRS89-Koordinaten für alle gemessenen Punkte bestimmt. Für die verbleibenden 35.000 Triangulierungspunkte wurde ein anderer Weg eingeschlagen: Diese Punkte erhalten Koordinaten im Bezugssystem ETRS89 durch Auswertung historischer terrestrischer Messdaten.

#### Bewegungsvektoren aus historischen terrestrischen Beobachtungen

Sämtliche seit 1906 gemessenen terrestrischen Beobachtungen, also Richtungs-, Höhenwinkelund Streckenmessungen, wurden vor einigen Jahren in eine Beobachtungsdatenbank eingepflegt. Für die Auswertung im Bezugssystem ETRS89 werden daraus für jeden Punkt alle verfügbaren Messungen aufbereitet und einer Netzberechnung zugeführt. Ausgangspunkte in diesen Berechnungen sind die mit GNSS bestimmten Triangulierungspunkte. Sind die terrestrischen Messdaten für einzelne Punkte unzureichend, werden für diese Punkte, im Rahmen der jährlichen Feldarbeit der Abteilung Grundlagen, zusätzliche Messungen mit dem APOS-Echtzeitpositionierungsdienst vorgenommen.

Etwa 70 % aller Festpunkte wurden im Laufe der Zeit vom BEV mit terrestrischen und/oder GPS-Messungen mehrfach bestimmt. Tabelle 1 gibt eine Übersicht über die Anzahl der TP in Prozent mit einer bestimmten Anzahl an Übermessungen.

Anzahl der Übermessungen	Anzahl TP (%)
1 x	30 %
2 x	20 %
3 x	15 %
4 x und öfter	35 %

Tab. 1.

Anzahl der Übermessungen der Triangulierungspunkte (TP).

Die gesamten Messungen aller Epochen eines Punktes werden in einer Netzberechnung aufbereitet. Ergeben sich bei der Berechnung Widersprüche zwischen den einzelnen Epochen, ist dies vielfach ein Hinweis auf eine Lageveränderung des Punktes. Nach Ausschluss möglicher Fehlerquellen werden die Beobachtungen der einzelnen Epochen voneinander abgetrennt und für jede Epoche eine eigene Koordinate im System ETRS89 bestimmt. Aus den erhaltenen unterschiedlichen Koordinaten können in der Folge für den betroffenen Punkt Vektoren zwischen den Epochen berechnet werden. Diese berechneten Vektoren erlauben Rückschlüsse auf eine Lageänderung durch gravitative Massenbewegungen und können als Bewegungsvektoren aufgefasst werden. Aussagen über Bewegungsraten können so rückwirkend bis zum Jahr der Entstehung des betroffenen Punktes getroffen werden.

#### Interpretation der Bewegungsvektoren

Im BEV werden die Festpunkte als Punkte mit Bodenbewegungen klassifiziert, wenn einerseits Messfehler oder anders geartete Identitätsverluste ausgeschlossen werden können und andererseits Messergebnisse aus mindestens zwei Epochen vorliegen. Der resultierende vermeintliche Bewegungsvektor muss über alle Epochen eine klare Tendenz zeigen, auch in der Höhenkomponente. Zusätzlich wird mit einem groben Geländemodell überprüft, ob die Bewegungsrichtung plausibel erscheint. Mit diesem Verfahren wurden bis dato bei ca. 500 Punkten Bodenbewegungen erkannt. Diese Punkte sind in der Datenbank mit dem Punkthinweis "R" versehen, um den Vermessungsbefugten bei Verwendung der Koordinaten auf diesen Umstand hinzuweisen.

#### Die Festpunkte des BEV in der Naturgefahrenanalyse

Wie in Tabelle 1 gezeigt, weisen ca. 70 % aller Triangulierungspunkte Mehrfachmessungen auf. An diesen Punkten lassen sich im Zuge der Berechnungen der Homogenisierung eventuelle Lageänderungen erkennen und in Form von Vektoren angeben. Umgekehrt können aber auch Punkte mit Mehrfachmessungen als stabil betrachtet werden, wenn sich bei den Berechnungen die Daten aus allen Epochen widerspruchsfrei zusammenfügen lassen. Für die Naturgefahrenanalyse sicherlich eine ebenso relevante Information. Weiteres Potenzial über Aussagen hinsichtlich Bodenbewegungen würden auch jene 30 % der Punkte bieten, welche bisher nur einmalig bestimmt wurden. Bei

Abb. 1.

Darstellung der Bewegungsraten im Bereich Plassen und Salzberg-Hochtal (aus OTTER, 2015).



95 % dieser Punkte liegt die Bestimmung schon mehr als zehn Jahre zurück, sodass eine neuerliche Koordinatenbestimmung mit dem APOS-Echtzeitpositionierungsdienst sinnvoll erscheint und auch angestrebt wird.

Im Rahmen einer multidisziplinären Bearbeitungsstrategie wurden von der Geologischen Bundesanstalt (GBA) unterschiedliche Methoden angewendet, um das geologische Gefahrenpotenzial im Bereich Hallstatt bewerten zu können (siehe MELZNER et al., 2017). Neben Methoden aus Geologie und Geophysik wurden auch die Auswertungen von Bewegungsvektoren in diesem Gebiet zur Untersuchung der Bewegungsraten der gravitativen Massenbewegungen herangezogen. Im Bereich des Untersuchungsgebietes verfügt das BEV über zahlreiche Messpunkte, welche seit 1961 mehrmals übermessen wurden. Zusätzlich wurde die Kooperation zwischen GBA und BEV zum Anlass genommen, die Punkte im Jahr 2015 mit dem APOS-Echtzeitsystem im Bezugssystem ETRS89 erneut zu beobachten. Die einzelnen Beobachtungsepochen der Messpunkte wurden gegenübergestellt und auf diese Weise Verschiebungsvektoren in Lage und in Höhe berechnet. Daraus ergaben sich über den Zeitraum 1961 bis 2015 zum Teil beachtliche Bewegungsvektoren der einzelnen Messpunkte.

Nachfolgend eine Zusammenstellung der Messereignisse und Bewegungsraten (Tab. 2, Abb. 1).

Punktnummer	Mess- jahr	Zeitraum (Jahre)	Lage (cm)	Richtung	Höhe (cm)	Lage (cm/Jahr)	Höhe (cm/Jahr)
42007-1 Natternköpfl	1955						
	1978	23	5	SE	-2	0,2	-0,1
	1985	7	2	SE	-1	0,3	-0,1
	1991	6	3	SE	2	0,6	0,3
	2015	24	7	SE	-9	0,3	-0,4
42007-2 Rote Wand (verloren)	1955						
	1978	23	676	SE	-260	29,4	-11,3
	1985	7	548	SE	-238	78,2	-34,0
42007-41 Rote Wand	1991						
	2015	24	72	SE	-50	3,0	-2,1
42007-3 Theresiastollen	1955						
	1978	23	3	E	0	0,1	0,0
	1985	7	1	E	0	0,2	0,0
	1991	6	9	E	-1	1,5	-0,2
	2010	19	3	Е	2	0,2	0,1
	2015	5	5	E	-3	1,0	-0,7
42007-5 Grubenbefahrung	1955						
	1978	23	49	SE	-5	2,1	-0,2
	1985	7	14	SE	-8	2,0	-1,1
	1991	6	12	SE	1	2,0	0,2
	2010	19	41	SE	-18	2,2	-0,9
	2015	5	13	SE	-13	2,5	-2,5
42007-7 Kaiser Josef Stollen	1955						
	1978	23	53	SE	-14	2,3	-0,6
	1985	7	19	SE	-4	2,7	-0,6
	1991	6	19	SE	-5	3,1	-0,9
42007-10 Kreuzberg Ost	1955						
	2015	60	2		2	0,0	0,0
42007-11 Lahngangkogel (verloren)	1955						
	1978	23	96	NE	-226	4,2	-9,8
	1985	7	20	NE	-64	2,9	-9,1
	1991	6	12	NE	-97	1,9	-16,2
42007-96	1978						
	1985	7	42	ENE	-24	6,1	-3,4
42007-97	1978						
	1985	7	28	NE	-25	4,0	-3,6
42007-98	1978						
	1985	7	26	ESE	-32	3,7	-4,5
115-96 Plassen Gipfel	1961						
	1978	17	13	SE	-17	0,7	-1,0
	1985	7	3	SE	-4	0,5	-0,6
	1993	8	7	SE	-8	0.8	-1.0
	2015	22	38	SE	-67	1.7	-3.0

Tab. 2. Bewegungsraten im Bereich Plassen und Salzberg Hochtal. Der Festpunkt 42007-2 an der Roten Wand wurde wahrscheinlich im Zuge des großen Felssturzereignisses im Jahr 1985 zerstört. Im Zeitraum von 1955 bis 1985 konnten an diesem Punkt sehr große Bewegungsraten von ca. 6 m in südöstlicher Richtung, mit einer vertikalen Bewegung von 2,5 m gemessen werden. Im Jahr 1991 wurde ein neuer Festpunkt (42007-41) im Bereich der Roten Wand installiert, der bis 2015 Bewegungsraten um 0,7 m in südöstlicher Richtung mit einem vertikalen Versatz von 0,5 m aufweist.

Die Festpunkte 42007-5 und 42007-7 im Salzberg Hochtal zeigen Bewegungsraten bis zu 0,5 m in südöstlicher und östlicher Richtung mit vertikalen Bewegungen von ca. 0,1 m im Zeitraum von 1955 bis 1978. Der Festpunkt 42007-1 am Natternköpfl ist durch vergleichsweise geringe Bewegungsraten in horizontaler und vertikaler Richtung gekennzeichnet. Die Festpunkte 42007-10, 63-96 und 189-96 im Dachsteinkalk zeigen keine Bewegungen.

Diegeologische Interpretation der Punkte 115-96 und 42007-11 am Plassen kann im Beitrag von MELZNER et al. (2017) nachgelesen werden. Abbildung 2 zeigt jene Gebiete im Salzkammergut, die derzeit gemeinsam untersucht werden.

#### Bodenbewegungen im Vermessungsgesetz

Wie bereits erwähnt, ist für Pläne im Kataster mit Urkundencharakter die Verwendung der nächstgelegenen Festpunkte und deren Koordinaten rechtlich bindend. In Gebieten mit Bodenbewegungen erwies sich das Erstellen von Vermessungsurkunden jedoch stets als Herausforderung, da sich die Lage der nächstgelegenen Festpunkte und/oder auch die Lage der von der Vermessung betroffenen Grenzpunkte im Vergleich zu früheren Bestimmungen in vorerst unbekanntem Maße geändert haben. Mit einem terrestrischen Festpunktanschluss, bei welchem die Grenzpunkte von den Koordinaten der nächstgelegenen Festpunkte abgeleitet werden, kann eine Lageänderung nur relativ zwischen Festpunkten und Grenzpunkten beobachtet werden. Eine Auswertung und eindeutige Aussage gestaltet sich schwierig bis unmöglich. Meist muss man sich hier so behelfen, dass man die Neuvermessung durch Transformation lokal an den Altstand der Vermessung anpasst. Damit bekommt man das unbefriedigende Ergebnis, dass die alten Koordinaten weitergeführt werden, ohne dass die tatsächliche Lageänderung des Grundstückes berücksichtigt wird.

Die heutigen GNSS-Messverfahren operieren unabhängig von den nächstgelegenen Festpunkten und ermöglichen die Koordinate absolut im Raum zu fixieren. Damit werden absolute Lageänderungen an Fest- als auch Grenzpunkten unabhängig voneinander direkt messbar. Diese Möglichkeit wurde nunmehr auch per Gesetz bindend festgelegt. Mit der Novelle des Vermessungsgesetzes 2016 (BGBL. I NR. 51/2016) fließen nun erstmals Bodenbewegungen und deren Einfluss auf den Kataster in den Gesetzestext ein. Eine darauf aufbauende Verordnung regelt die Vorgangsweise, wie bei Katastervermessungen in den Gebieten mit Bodenbewegungen vorzugehen ist. Diese Gebiete sollen durch sogenannte Ermittlungsflächen – Flächen, in denen eventuell vorkommende Massenbewegungen ermittelt werden sollen beschrieben werden. Innerhalb dieser Flächen ist bei der Erstellung von Vermessungsurkunden ein vermehrter Aufwand an Messungen nötig und die Dokumentation im System ETRS89 bindend.

Abb. 2.

Panoramablick auf Ewige Wand, Zwerchwand, Sandling und Loser.



Das BEV hat sich zum Ziel gesetzt, diese Ermittlungsflächen zu definieren, räumlich einzugrenzen, in einer Datenbank zu führen und den Vermessungsbefugten bereit zu stellen. Eine erste Grundlage bilden die im Zuge der Homogenisierung aufgedeckten Punkte mit Bodenbewegungen. Diese nur punktuell vorhandenen Informationen sollen in der Folge durch flächenhafte Abgrenzungen erweitert werden. Dazu bedarf es einer engen Kooperation des BEV mit unterschiedlichen Institutionen und Dienststellen (GBA, Landesgeologen, WLV, Universitäten etc.). In einer ersten Phase sollen bereits vorliegende flächige Informationen gesammelt und übernommen werden, um dann in einer zweiten Phase die Möglichkeiten der Fernerkundung (Airborne Laserscanning ALS, DIN-SAR etc.) weiter auszuschöpfen. Durch Feldbegehungen und punktuelle Nachmessungen sollen diese Bereiche im Detail eingegrenzt und verifiziert werden.

Ohne Experten mit Fachkenntnissen in der gravitativen Naturgefahrenforschung kann diese Aufgabe vom BEV alleine nicht getragen werden. Mit der Zusammenarbeit zwischen dem BEV und der Fachabteilung Ingenieurgeologie der GBA ist bereits ein erster Schritt in die richtige Richtung getan. Ein Schulterschluss aller Fachexperten ist das erklärte Ziel.

#### Literatur

- HÖGGERL, N., TITZ, H. & ZAHN, E. (2007): APOS-Austrian Positioning Service. – Österreichische Zeitschrift für Vermessung und Geoinformation, 95/1, 10–23, Wien.
- MELZNER, S., MOSER, M., OTTOWITZ, D., OTTER, J., LOTTER, M., MOTSCHKA, K., IMREK, E., WIMMER-FREY, I., ROHN, J. & PREH, A. (2017): Multidisziplinäre Grundlagenerhebung als Basis für die Implementierung eines Monitoringsystems am Plassen. – Tagungsband zur Arbeitstagung der Geologischen Bundesanstalt 2017, 140–146, Wien.
- OTTER, J. (2015): Gravitative Massenbewegungen im Bereich Hallstatt – die Grundlagenvermessung als Werkzeug der Gefahrenprävention. – Leistungsbericht 2015, Bundesamt für Eich- und Vermessungswesen, 43–44, Wien.
- TITZ, H., HÖGGERL, N., IMREK, E. & STANGL, G. (2010): Realisierung und Monitoring von ETRS89 in Österreich. – Österreichische Zeitschrift für Vermessung und Geoinformation, 98/2, 52–61, Wien.
- BGBL. I NR. 51/2016: Änderung des Vermessungsgesetzes. Gesamte Rechtsvorschrift für Vermessungsgesetz: https://www.ris.bka.gv.at/GeltendeFassung.wxe?Abfrage=-Bundesnormen&Gesetzesnummer=10011400 (Fassung vom 27.03.2017).

### Alles in Bewegung – Massenbewegungen und der prähistorische Salzbergbau in Hallstatt

HANS RESCHREITER (1), KERSTIN KOWARIK (1), DAVID OTTOWITZ (2), ALEXANDER RÖMER (2), JOACHIM ROHN (3), FRANZ OTTNER (4) & MICHAEL GRABNER (5)

#### 8.000 Jahre Salz in Europa

Salz ist, seit der Mensch sesshaft wurde und dadurch Wintervorräte benötigte, unser ständiger Begleiter. Salzen stellt die einfachste und sicherste Methode dar, um Milchprodukte und tierisches Eiweiß für den Winter haltbar zu machen. Rund um Solequellen und an den europäischen Küsten sind hunderte prähistorische Salzproduktionsstätten bekannt. Die älteste nachgewiesene Salzproduktion ist momentan aus Rumänien bekannt (WELLER & DUMITROAIA, 2005). Aber erst drei prähistorische Salzbergwerke wurden bisher weltweit entdeckt. Diese befinden sich in Chehräbäd in der Provinz Zanjan im Nordwesten des Iran, am Dürrnberg bei Hallein und in Hallstatt im Salzkammergut. Chehrãbãd wurde durch Mumien prähistorischer Bergleute bekannt. Die Männer, zum Teil in Kleidung perfekt erhalten, sind bei durch Erdbeben ausgelösten Grubenunglücken zwischen 500 v. Chr. und 600 n. Chr. verschüttet worden.

Am Dürrnberg beginnt der Salzbergbau um 650 v. Chr. und wird in prähistorischer Zeit bis in das 1. Jahrhundert v. Chr. betrieben. In Hallstatt sind bereits um 5000 v. Chr. Spuren von Salzproduktion (Abb. 1) greifbar (KOWARIK & RESCHREITER, 2008). Ab 1250 v. Chr. ist eine beinahe industrielle, untertägige Salzgewinnung nachgewiesen. Diese dauert mit Unterbrechungen bis heute an. Das Salzkammergut stellt damit die älteste bekannte Industrie- und Kulturlandschaft weltweit dar, in der immer noch produziert wird.

Aber nicht nur die Seltenheit von prähistorischen Salzbergwerken und die Jahrtausende lange Produktion machen Hallstatt zu etwas Besonderem. Speziell hervorzuheben sind die einmaligen Erhaltungsbedingungen, die in Salzbergwerken herrschen. Alles, was Bergleute vor Jahrtausenden im Zuge ihrer Arbeit im Berg zurückgelassen haben ist bis heute perfekt konserviert. Dieser durch den Bergdruck verpresste Betriebsabfall wird als "Heidengebirge" bezeichnet. Durch die konservierende Wirkung des Salzes sind neben unzähligen Gegenständen aus Fell, Leder und Textilien aus Schafwolle auch hunderte Holzobjekte, wie abgebrannte Leuchtspäne, Geräte und Werkzeuge über die Jahrtausende im Betriebsabfall erhalten geblieben (RESCHREITER & KOWARIK, 2008; RESCHREITER et al., 2014).

> Abb. 2. Forschungsstollen durch die prähistorische Halde, bestehend aus Leuchtspänen, Resten von Geräten, Werkzeuge bis hin zu menschlichen Exkrementen (A. Rausch/NHM Wien).





 (1) Naturhistorisches Museum Wien, Prähistorische Abteilung, Burgring 7, 1010 Wien. hans.reschreiter@nhm-wien.ac.at
 (2) Geologische Bundesanstalt, Neulinggasse 38, 1030 Wien.
 (3) GeoZentrum Nordbayern, Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg, Lehrstuhl für Angewandte Geologie, Schlossgarten 5, D- 91054 Erlangen, Deutschland.
 (4) Universität für Bodenkultur Wien, Institut für Angewandte Geologie, Peter-Jordan-Straße 82, 1190 Wien.
 (5) Universität für Bodenkultur Wien, Institut für Holztechnologie und Nachwachsende Rohstoffe,

Konrad-Lorenz-Straße 24, 3430 Tulln.



Die prähistorischen Bergleute haben oft meterhohe Halden im Bergwerk zurückgelassen. Das Naturhistorische Museum in Wien (NHM) gräbt mit seinen Forschungspartnern und in Kooperation mit der Salinen Austria AG und der Salzwelten GmbH Forschungsstollen durch diesen Betriebsabfall ("Heidengebirge") (Abb. 2, 3).

Mit diesen besonderen Erhaltungsbedingungen ist Hallstatt der bedeutendste Fundort für prähistorische Gegenstände aus organischem Material in Europa (Abb. 3). An keinem anderen Platz wurden bislang mehr Werkzeuge und Geräte aus Holz, Fell, Leder und Wolle geborgen. Normalerweise erhalten sich im Boden nur Gegenstände aus MaAbb. 3.

Funde aus organischem Material aus den prähistorischen Bergwerken von Hallstatt. a) 3.300 Jahre alter Transportsack aus Rinderhaut;

b) menschliche Exkremente um 700 v. Chr.; c) ein Schuh, 700 v. Chr.; d) gefärbte Textilien, ca. 700 v. Chr. (A. Rausch/NHM Wien).

terialien, die nicht oder nur langsam durch Bodenorganismen abgebaut werden – Gegenstände aus gebranntem Ton, aus Stein, Metall, Geweih, Knochen, Elfenbein, Bernstein und Glas.

Aufgrund der Tatsache, dass der gesamte Betriebsabfall so perfekt erhalten ist, ist es möglich, prähistorische Lebens- und Arbeitswelten in einer außergewöhnlich hohen Detailgenauigkeit zu re-



Abb. 4. So könnte eine der horizontal angelegten Abbaukammern um 1100 v. Chr. ausgesehen haben (H. Reschreiter & D. Gröbner/NHM Wien).



konstruieren. Diese einmaligen Einblicke in den Alltag und die Arbeit vor 3.000 Jahren waren auch maßgeblich mitausschlaggebend für die Ernennung zum UNESCO Weltkulturerbe im Jahr 1997.

Ab 1250 v. Chr. fassen wir in 100 m Teufe einen hoch spezialisierten Bergbau, der in arbeitsteiliger Struktur Salz in großer Menge gewann. Für alle Arbeitsschritte wurden Spezialentwicklungen zum Einsatz gebracht, die für diesen Bergbau erfunden wurden. Die Hallstätter Bergleute übernahmen nicht die Technik und Geräte aus den nahegelegenen zeitgleichen Kupferbergwerken, z.B. in Salzburg, sondern entwickelten den kompletten Ablauf neu und zielgerichtet für ihre Lagerstätte.

In der Bronzezeit wurde in Hallstatt ein Schachtbau betrieben, der von riesigen Zentralschächten aus horizontale Kammern aufschloss (Abb. 4). Die Schächte dienten dem Materialtransport und der Mannsfahrt. Die Mächtigkeit der Schwebe zwischen den einzelnen Kammern betrug nur wenige

#### Abb. 5

Mögliches Szenario für den Untergang des bronzezeitlichen Bergbaus um 1000 v. Chr. (D. Gröbner & H. Reschreiter/NHM Wien). Material von der Oberfläche drang in die Abbaukammern ein und verfüllte den prähistorischen Bergbau. Alle Schachteinbauten wurden dabei in die Tiefe gerissen.

Meter. Hallstatt zählt zu den ältesten am Reißbrett entworfenen Bergbauen, die bekannt sind. Der bronzezeitliche Bergbau wird um 1000 v. Chr. verschüttet (Abb. 5). Dies belegen im Jahr 2016 durchgeführte Untersuchungen in Hallstatt im so genannten Christian-von-Tusch-Werk, hier wurde der Bereich direkt unterhalb eines Verbindungsschachtes untersucht.

Diese Unterbrechung der Salzproduktion währt nicht lange. Spätestens im 8. Jahrhundert v. Chr. lässt sich der nächste Großbetrieb fassen. Dieser hallstattzeitliche Bergbau zeichnete sich nun durch bis über 200 m lange und bis zu 20 m hohe horizontale Abbaukammern aus (Abb. 6).



Abb. 6. Um 700 v. Chr. werden herzförmige Salzplatten in über 200 m langen und 20 m hohen Kammern gebrochen (H. Reschreiter & D. Gröbner/ NHM Wien).



Abb. 7. Bestattung einer Frau. Sie wurde am Scheiterhaufen verbrannt. Ihre verbrannten Knochen wurden gemeinsam mit ihrem Schmuck (Armreifen. Fibeln, Haarnadeln und Lockenringen) bestattet (A. Kern/NHM-Wien).

In der Hallstattzeit hat sich nicht nur der Betriebsabfall im Bergwerk erhalten – wir kennen auch den Bestattungsplatz der Bergleute, welcher am Eingang des Salzbergtales gelegen ist. Über 3.000 Tote wurden hier, in einem riesigen Gräberfeld, zwischen 850 und 350 v. Chr., teils mit reichen

#### Abb. 8.

Lage der bislang bekannten prähistorischen und römischen Fundbereiche im Bereich von Hallstatt. Lila (im Talbereich): Siedlung und Friedhof der Römerzeit (30–400 n. Chr.).

Hellblau: Siedlung auf der Dammwiese

(ca. 3. Jahrhundert v. Chr. bis 2. Jahrhundert n. Chr.).

Dunkelblau: Bergbaurevier, welches von der Dammwiese aus erschlossen wurde.

Grün: Industrielle Speckproduktion (unten) und Bergbaurevier (oben) der Bronzezeit (1250–1000 v. Chr.).

Braun / Rostrot: Gräberfeld (unten) und Bergbau (oben) der Hallstattzeit (800–400 v. Chr.). (Luftbildarchiv am Institut für Urgeschichte und historische

Archäologie, Universität Wien; K. Löcker).



Grabbeigaben, darunter Schmuck und Waffen sowie Speisebeigaben für die Reise in das Jenseits, bestattet (Abb. 7).

Die Spuren an den Skeletten zeigen, dass Kleinkinder, Kinder, Jugendliche, Frauen und Männer intensiv in den Arbeitsablauf im Bergwerk integriert waren (RESCHREITER et al., 2013). Bisher konnten keine Häufungen an schweren Verletzungen am Skelett festgestellt werden – was für einen sicheren Bergbau ohne schwere Arbeitsunfälle spricht.

Auch dieser Bergbau wird durch eine Massenbewegung, die alle vorhandenen Hohlräume im Bergwerk ausfüllt und das gesamte Salzbergtal verwüstet, beendet. Ein Neubeginn des Bergbaus erfolgt kurz darauf von der höher in geschützter Lage gelegenen Dammwiese aus, wie Funde einer Siedlung ab dem etwa 3. Jahrhundert v. Chr. bis 2. Jahrhundert n. Chr. belegen (Abb. 8). Die Dammwiese befindet sich in einem Sattel zwischen dem Lahngangkogel (1.755 m) im Nordwesten und dem Solingerkogel (1.406 m) im Südosten.

Abb. 9.

Schnitt (Ostprofil) durch eine bis zu 20 m hohe und bis zu 13 m breite Abbaukammer (namentlich: "Kernverwässerungswerk") der Hallstattzeit, die durch Massenbewegungen komplett ausgefüllt wurde. Durch die eindringenden Sedimente sind Kontur und annähernd auch Größe der ursprünglichen Hohlräume erhalten geblieben. Ohne diese Katastrophe hätte der Bergdruck den prähistorischen Hohlraum wieder geschlossen und es wäre nur der Betriebsabfall, der im Berg zurückgeblieben ist, als "Heidengebirge" erhalten geblieben (A. Rausch/NHM Wien).





Abb. 10.

Die 8 m lange, um 1000 v. Chr. verschüttete und damit älteste erhaltene Holzstiege Europas nach der Freilegung (A. Rausch/NHM Wien). Sie wird bei Führungen im Schaubergwerk der Salzwelten im neu errichteten "Bronzezeitkino" gezeigt.

#### Verschüttungen

In Hallstatt kann nachgewiesen werden, dass die prähistorische Salzproduktion mehrfach durch Massenbewegungen unterbrochen wurde (ROHN et al., 2005). Es handelt sich sowohl beim Ende des bronzezeitlichen Bergbaus, als auch beim Untergang des hallstattzeitlichen Bergbaus um langsame Massenbewegungen. Die in die Bergbaue eingedrungene Masse (Abb. 9) zeigt an allen Aufschlüssen ein matrixgestütztes Gefüge und keine Anzeichen von Fraktionierung. Auch die Auswertungen der Korngrößenanalyse und Tonmineralanalyse, des Wassergehaltes und der Plastizität sprechen für langsame Ereignisse. Der hohe Halit- und Gipsanteil in den Rutschmassen konnte bisher noch nicht schlüssig erklärt werden (LANG, 2007; RUMPLER, 2007; PAIER & SWOBODA, 2014).

#### Datierung der Ereignisse

Sowohl aus dem Betriebsabfall als auch aus den Rutschmassen konnten inzwischen hunderte Hölzer dendrochronologisch datiert werden. Dadurch ist es möglich, die großen und auch etliche kleine Massenbewegungen zeitlich genau einzuordnen. Um 1000 v. Chr. wurde der bronzezeitliche Betrieb verschüttet, spektakulär war 2003 an der Fundstelle Christian-von-Tusch-Werk der Fund einer 8 m langen und 1,2 m breiten Holzstiege, die als älteste in Europa gilt (Abb. 10). Um 650 v. Chr. geht der Bergbau der Hallstattzeit unter. Die mächtige Abrisskante über dem hohen Wasserstollen wird mit diesem Ereignis verbunden (Abb. 11).

Im Langmoosbach (RESCHREITER et al., 2010) sowie zwischen Steinbergkogel und Solingerkogel konnten viele Hölzer aus den Rutschmassen geborgen werden. Sie zeigen, dass kleinräumige Rutschungen immer wieder mobil wurden und Bäume unter sich begruben (Abb. 12–14).



Abb. 11. Dreidimensionales Geländemodell vom Hallstätter See bis zum Plassen-Gipfel. Die Abrisskante, welche quer durch das Salzbergtal verläuft, dürfte von der Massenbewegung um 650 v. Chr. stammen.



#### Abb. 12.

Blick gegen Südosten im Hallstätter Hochtal auf eine Rutschung mit Kalkblöcken in weicher Matrix zwischen dem Steinberg- und dem Solingerkogel im Jahr 2011. Im Hintergrund ist der Krippenstein zu erkennen. (H. Reschreiter/NHM Wien).

#### Offene Fragen und künftiger Forschungsbedarf

Alle Aufschlüsse von prähistorischen Bergbauen wurden im Hallstätter Salzberg in den letzten Jahrhunderten zufällig durch den modernen Laugwerksbetrieb und seine Vorrichtungsbaue entdeckt. Die Aufschlüsse sind meist sehr klein und geben nur bedingt Auskunft über die ursprüngliche Richtung, Form und Dimension der prähistorischen Grubenbaue. In den letzten Jahrzehnten konnten mit intensiver Unterstützung durch die



Abb. 13.

Entnahme einer Holzprobe aus der Rutschmasse zwischen dem Steinberg- und dem Solingerkogel. Die vorläufige dendrochronologische Auswertung legt nahe, dass zwischen der Bronzezeit und heute mehrfach Rutschungen Bäume verschüttet haben (H. Reschreiter/NHM Wien).

Salinen Austria AG zwar komplette Querschnitte durch prähistorische Abbauräume ergraben werden, die mit Tagmaterial ausgefüllt sind (Abb. 9), aber es blieben noch viele Fragen offen.

Nachdem erste geoelektrische Messungen an der Oberfläche schon sehr gute Ergebnisse erbracht haben, wurde 2016 ein erster Großversuch im Bergwerk unternommen (OTTOWITZ & JOCHUM, 2016). An der Oberfläche konnte die Pinge der Katastrophe um 650 v. Chr. als solche identifiziert



Zwischen dem 2. Jahrhundert v. Chr. und dem 20. Jahrhundert wurden immer wieder Stämme unter den Rutschmassen zwischen Steinberg- und Solingerkogel begraben und dadurch konserviert. Im Zuge der Rutschungen von 2007 und 2011 kamen sie wieder an die Oberfläche (M. Grabner/ BOKU; J. Klammer/ NHM Wien).

Abb. 15. Diese auffällige Struktur stellt den Rest einer großen Pinge dar, die höchstwahrscheinlich vom Verschütten des hallstattzeitlichen Bergbaus um 650 v. Chr. stammt.



werden. In den Abbildungen 15 und 16 ist das Ergebnis der geoelektrischen Oberflächenmessung über die Pinge als Modell des spezifischen elektrischen Widerstandes dargestellt. Der grüne bis rote Farbbereich (eher höherer spezifischer elektrischer Widerstand) wird dem heterogenen Rutschungsmaterial zugeordnet. Deutlich zu sehen ist, dass dieses Material im Bereich der Pinge (Profilmeter 60–120) bis in größere Tiefen reicht. Der umgebende Untergrund, der sich durch den tiefblauen Farbbereich auszeichnet (sehr niedriger spezifischer elektrischer Widerstand), wird als ausgelaugtes Haselgebirge interpretiert. Das große Potenzial der geoelektrischen Messmethode in diesem Bereich (Abgrenzung von Rutschungsmaterial und darunterliegendem ausgelaugtem Haselgebirge) wurde mit weiteren geoelektrischen Messprofilen bestätigt und soll auch für das im Sommer 2017 startende Projekt FaceAlps (ÖAW; NHM Wien) genutzt werden.

Im Bergwerk wurden im Sommer 2016 zwischen dem Kaiser Josef Stollen und dem Kaiserin Christina Stollen erste umfangreiche Messungen realisiert (OTTOWITZ & JOCHUM, 2016). Ziel war einerseits eine Methodenevaluierung unter den gegebenen Bedingungen und andererseits natürlich das Auffinden von bereits bekannten bzw. unbekannten prähistorischen Bergbaubereichen. Das Ergebnis in Abbildung 17 zeigt deutliche Anomalien im berechneten Modell des spezifischen elektrischen Widerstandes zwischen den beiden Stollen, die zum Teil bekannten (prähistorischen) Bergbaubereichen zugeordnet werden können. Neben diesem Ergebnis wurden auch wichtige Erkenntnisse bezüglich des Methodeneinsatzes gewonnen (OTTOWITZ et al., 2017), die in geplante Messungen für das Jahr 2017 einfließen werden.

Die mächtigen Massenbewegungen lassen sich nicht nur im Salzbergtal, sondern auch in den Seesedimenten nachweisen. In den letzten Jahren wurden mehrere Sedimentkerne gezogen. Die Auswertung der Kerne wird unter anderem im Projekt FaceAlps (ÖAW; NHM Wien) erfolgen. Im Rahmen dieser Studie werden Extremereignisse (Überschwemmungen und Massenbewegungen) der letzten Jahrtausende und ihre Auswirkungen auf Landschaft und Gesellschaft im Einzugsgebiet des Hallstätter Sees analysiert.





Abb. 17.

Erstes Ergebnis der durchgeführten Stollenmessungen (Modell des spezifischen elektrischen Widerstandes zwischen den beiden Stollen) und Impressionen der Messkampagne.

#### Literatur

- KOWARIK, K. & RESCHREITER, H. (2008): Erste Spuren. In: KERN, A., KOWARIK, K., RAUSCH, A. & RESCHREITER H. (Hrsg.): Salz-Reich, 7000 Jahre Hallstatt. – Veröffentlichung der Prähistorischen Abteilung (VPA), 2, 44–45, Wien.
- LANG, S. (2007): Geotechnische Untersuchung und GIS-gestützte Erfassung der Massenbewegungen im Bereich Hallstatt-Salzberg/Echerntal und sedimentologische Analyse prähistorischer Massenbewegungen (UNESCO-Welterberegion Hallstatt-Dachstein, Österreich). – Unveröffentlichte Diplomarbeit, Universität Karlsruhe (TH), 169 S., Karlsruhe.
- OTTOWITZ, D. & JOCHUM, B. (2016): Geoelektrische Messungen im Hallstätter Salzbergwerk 2016: Bericht. – Unveröffentlichter Bericht, 14 S., Geologische Bundesanstalt, Wien.
- OTTOWITZ, D., JOCHUM, B., TSAKIRBALOGLOU, K., KIM, J.-H. & RESCHREITER, H. (2017): Geoelektrische Messungen im Hallstätter Salzbergwerksstollen. – Tagungsband zur Arbeitstagung der Geologischen Bundesanstalt 2017, 291–292 Wien.
- PAIER, S. & SWOBODA, P. (2014): Rekonstruktion einer Bronzezeitlichen Massenbewegung im Hallstätter Bergbau. – Unveröffentlichte Bachelorarbeit, Universität für Bodenkultur, KTWW, Wien.
- RESCHREITER, H. & KOWARIK, K. (2008): Das "Heidengebirge". In: KERN, A., KOWARIK, K., RAUSCH, A. & RESCHREITER, H. (Hrsg.): Salz-Reich, 7000 Jahre Hallstatt. – Veröffentlichung der Prähistorischen Abteilung (VPA), **2**, 36–39, Wien.
- RESCHREITER, H., GRABNER, M. & EHRET, D. (2010): Prähistorische Massenbewegungen in Hallstatt – Dendrochronologische Datierung und Auswirkung auf den Salzbergbau. – Journal of Alpine Geology, **52**, 212–213, Wien.

- RESCHREITER, H., PANY-KUCERA, D. & GRÖBNER, D. (2013): Kinderarbeit in 100 m Tiefe? Neue Lebensbilder zum prähistorischen Hallstätter Salzbergbau. Interpretierte Eisenzeiten. – Studien zur Kulturgeschichte von Oberösterreich, **37**, 25–37, Linz.
- RESCHREITER, H., MILLER VON, D., GENGLER, C., KALABIS, S., ZANGERL, N., FÜRHACKER, R. & GRABNER, M. (2014): Aus dem Salz ins Depot – Organische Funde aus den prähistorischen Salzbergwerken von Hallstatt. – Österreichische Zeitschrift für Kunst- und Denkmalpflege, **68**/3/4, 354–367, Wien.
- ROHN, J., EHRET, D., MOSER, M. & CZURDA, K. (2005): Prehistoric and recent mass movements of the World Cultural Heritage Site Hallstatt, Austria. – Environmental Geology, **47**/5, 702–714, Berlin–Heidelberg. DOI: https://dx.doi.org/10.1007/s00254-004-1201-2
- RUMPLER, N. (2007): Geotechnische Untersuchung und GIS-gestützte Erfassung der Massenbewegungen an den Geißwänden und bodenmechanische Untersuchungen prähistorischer Massenbewegungen (UNESCO-Welterberegion Hallstatt-Dachstein, Österreich). – Unveröffentlichte Diplomarbeit, Universität Karlsruhe (TH), 150 S., Karlsruhe.
- WELLER, O. & DUMITROAIA, G. (2005): The earliest salt production in the world: an early Neolithic exploitation in Poiana Slatinei-Lunca, Romania. – Antiquity, **79**, 306, Cambridge.

#### Tipp

Funde des prähistorischen Salzbergbaus sind im Naturhistorischen Museum in Wien in den Sälen der Urgeschichte, insbesondere im Saal 12, zu sehen. Im Museum Hallstatt wird eine bedeutende Sammlung von prähistorischen und römischen Objekten aus Hallstatt präsentiert.

In den Salzwelten Hallstatt ist die älteste Holzstiege Europas im Bronzezeit-Kino zu besichtigen. www.salzwelten.at

Aktuelle Forschungsergebnisse werden in einem BLOG dokumentiert:

http://derstandard.at/r2000034310704/Archaeologieblog

### Gschliefgraben – 10 Jahre danach

#### **Geschichte und Ereignis**

Der Gschliefgraben ist ein seit Jahrhunderten bekanntes Rutschgebiet, welches bereits mehrere Generationen von Geologen und Naturforschern zu vertieften Beobachtungen motiviert hat. Und so liegen auch seit dem 17. Jahrhundert Aufzeichnungen und Beschreibungen der ab dieser Zeit aufgetretenen Großhangbewegungen vor. Im Gegensatz zu den früheren Aufzeichnungen war es aber erst im Zuge des Ereignisses 2007/2008 dank moderner Messmethoden möglich, detailliertere Erkenntnisse hinsichtlich Ursachen, Auslöser, Bewegungsmechanismen und Bewegungstrends zu gewinnen.

Da über das Ereignis selbst im Zuge der Hauptbewegungsphase und auch danach vielfach ausführlich berichtet wurde, soll hier nur mehr auf die maßgeblichen Kennzahlen der Bewegung eingegangen werden. So waren zwischen Ende November 2007 (der Beginn der Hauptbewegung wurde mit 28.11.2007 datiert) und Sommer 2008 etwa 35 ha und ca. 4 Mio. m<sup>3</sup> hauptsächlich feinkörniger ultrahelvetischer Sedimente in Form von Erd-Schuttströmen in Bewegung. Die Bewegungsgeschwindigkeit lag bei maximal 4,7 m/d und die Bewegung erreichte Tiefen von über 20 m.

Während die Erd-Schuttströme vor Erreichen des Siedlungsraumes durch Entwässerungsmaßnahmen gestoppt werden konnten, wie anhand mächtiger Stirnwülste zu beobachten war, reichten die Vorfeldbewegungen bis in den Siedlungsraum entlang der Traunsteinstraße und führten letztendlich auch dazu, dass wenige Objekte um mehrere Dezimeter verschoben wurden. Größere Schäden an den Objekten entstanden allerdings nicht.

#### **Die Zeit danach**

Während im Zuge der Hochaktivitätsphase des Erd-Schuttstromes der Bearbeitungsfokus auf die Krisenbewältigung und Schadensminimierung gelegt wurde, konnten nach Abklingen der Hauptbewegung ab Sommer 2008 nicht nur verstärkt Auswertungen hinsichtlich eventuell vorhandener Korrelationen verschiedener möglicher Einflussfaktoren (wie zum Beispiel Niederschlag, Temperatur etc.) durchgeführt werden, es wurde auch eine komplette geologisch-morphologische **Neukartierung des Gschliefgrabens** und seiner relevanten Randbereiche vorgenommen. Zu diesen Randbereichen zählen insbesondere die am südlichen Rand des Gschliefgrabens ansteigenden Nordabhänge des Traunsteins, welche nicht nur als Liefergebiet für Felssturzmaterial, sondern auch als Eintragsgebiet von Kluftwässern in den Gschliefgraben fungieren. Da diese Kartierung erstmals auf Laserscanbasis erfolgte, konnte auch eine zuvor nicht mögliche Genauigkeit erreicht werden. Darüber hinaus wurden in Teilbereichen auch neue geologische Kenntnisse gewonnen.

Die Beobachtungsdynamik nach Abklingen der Hauptbewegung im Frühjahr 2008 kann in drei Homogenbereiche unterteilt werden (Abb. 1): Den Oberhangbereich, wo kaum Sanierungsmaßnahmen gesetzt werden konnten, da hier durchgehend ein hohes Maß an Bewegungsaktivitäten zu beobachten war. Morphologisch lässt sich dieser Bereich in Form einer Verflachung zum Mittelhang hin gut abgrenzen. Hier wurde durch Maßnahmen der Gerinnestabilisierung, Oberflächenwasserableitung und Drainagierung bereits eine deutliche Reduktion der Bewegungen erzielt. Die Verengung des Mittelhanges begünstigte die Herstellung einer tiefen Querdrainage. Diese Querdrainage wirkt sowohl als Barriere hinsichtlich des Porenwasserdruckes, als auch als Wasserausleitung. Hier wurde ein automatischer Inklinometer mit GMS-Datenübertragung installiert, welcher bis Dezember 2016 im Einsatz war und eine permanente Kontrolle der Bewegungen in einem repräsentativen Bereich ermöglichte. Ende 2016 musste diese Messstelle aufgegeben werden, da eine weitere Verformung des Inklinometers ein hohes Risiko hinsichtlich eines Totalverlustes der teuren Messeinrichtung bedeutet hätte.

Neben den oben angeführten Messungen wurden insbesondere 2008 bis 2011 objektbezogene (Wohnobjekte an der Traunsteinstraße unterhalb des bewegten Areals) Aufnahmen und Risikobeurteilungen durchgeführt. Des Weiteren wurden die **vergleichenden Messungen (Einlauf/Auslauf) der Oberflächenabflüsse** in Rohrleitungen zur Ermittlung eventueller Leckagen fortgesetzt.

#### GÜNTER MOSER (1)



Abb. 1. Der Gschliefgraben im März 2017, Blick von West nach Ost.

Im Zuge des Hauptereignisses wurden knapp 300 Brunnen errichtet, um durch Grundwasserentnahmen mittels Pumpbetrieb die Scherfestigkeit des Untergrundes zu erhöhen. Da ein dauerhafter Pumpbetrieb aus wirtschaftlichen und technischen Gründen nicht infrage kam, wurden die verbliebenen Brunnen nach entsprechenden hydraulischen Berechnungen auf **gravitative Ableitungen** bei Erreichen eines höchstzulässigen Wasserstandes umgebaut.

Neben den oben dargestellten Beobachtungen wurden seitens der Wildbach- und Lawinenverbauung (WLV) quasi durchgehend Betreuungs- und Wartungsarbeiten an den Sicherungsmaßnahmen durchgeführt.

#### **Der Status Quo**

Die laufenden Beobachtungen und Begehungen zeigen eine durchgehend hohe Aktivität im Oberhangbereich in Form von kleineren Erdschuttströmen im Ultrahelvetikum, Felsstürzen im Bereich der Ahornwände und einer Mitte März 2017 erfolgten Translationsrutschung im Bereich des Schuttkegels am Fuße der Ahornwände. Abbildung 1, welche am 28. März 2017 entstanden ist, lässt immer noch anhand des unterschiedlichen Bewuchses, der weitgehend fehlenden Grasnarbe und der ins bräunliche gehenden Farbtöne sehr schön das Ausmaß der Bewegung von 2007/2008 erkennen.

Im Mittelhangbereich, wo zahlreiche Drainagen errichtet wurden, liegt die Bewegungsrate nun-

mehr im cm-Bereich pro Jahr. Der Unterhang ist seit Mitte bis Ende 2008 weitgehend stabil, hier konnten keine weiteren Verformungen festgestellt werden.

#### Perspektiven

Nach einem längeren Prozess technischer Abklärungen und Diskussionen sowie Vorvereinbarungen hinsichtlich der wirtschaftlichen Aspekte, steht die Installation eines Frühwarnsystems unmittelbar bevor. Dieses wird als automatisiertes Messsystem eingerichtet, wobei die Hauptsäulen des Systems zwei automatische Inklinometer werden, welche oberhalb und unterhalb der oben erwähnten Querausleitung in neu zu errichtende Bohrungen eingebaut werden. Daneben sollen auch die Kontrolle der Oberflächenabflüsse und Wasserspiegelmessungen in die Beobachtungen miteinbezogen werden. Im Falle erhöhter Bewegungsaktivitäten bewirken verschiedene Alarmniveaus spezifische Reaktionen, bei Bewegungen unterhalb der Alarmschwellen werden in fixen Intervallen Auswertungen und gegebenenfalls Modifizierungen der Schwellenwerte vorgenommen.

Durch vorbereitende Maßnahmen nach dem Ereignis 2007/2008, wie die Errichtung von Brunnen, Oberflächenwasserableitungen und Drainagierungen sowie die Einrichtung eines Frühwarnsystems, wird es möglich sein, künftige größere Ereignisse früher zu erkennen, um auch entsprechend früher Abwehrmaßnahmen ergreifen zu können.

# Chronik eines "vorhergesagten" Erdstroms – das 2007-08 Gschliefgraben Ereignis, Oberösterreich

In Erinnerung und mit Unterstützung meiner geschätzten Kollegen Univ. Prof. Dr. Dr. h.c. Franz Weber (1926–2013) und a.o. Univ. Prof. Dipl. Ing. Dr. Erich Niesner (1955–2012) von der Montanuniversität Leoben. Danke für Ihre unentgeltlichen Forschungsarbeiten zum Wohle der Betroffenen und der Stadtgemeinde Gmunden im Vorfeld und während der im Titel genannten Katastrophe!

#### Einleitung

Mit der überraschenden Ankündigung "Jahrhundertrutschung droht: Forscher aktiv" (AIGNER, 2005) und der zu den Osterfeiertagen wie eine Bombe einschlagenden Titelseite in der "Salzkammergut Rundschau": "Riesenrutschung bedroht Häuser", mit dem dazugehörigen Artikel "Erdstrom könnte auch Häuser mitreißen" (AIGNER, 2006b) war das Maß an Erträglichem voll!

Im Gschliefgraben tätige Geowissenschaftler der Montanuniversität Leoben hatten seit 2004 von der Österreichischen Akademie der Wissenschaften (ÖAW) den Auftrag, geophysikalische Messmethoden zu testen. Die Messergebnisse wurden u.a. vom Autor dieser Zeilen geologisch interpretiert, und diese waren mehr als spannend.

Aber nicht nur die Öffentlichkeit meinte damals leider, dass dieses Forscherteam nur auf sich aufmerksam machen wolle, sich bewusst in den Vordergrund dränge oder gar mit den Emotionen der Betroffenen spielen würde. Kurzum, kaum jemand wollte den Ankündigungen Glauben schenken, und für das Forscherteam folgte eine Zeit der Anfeindungen samt fallweiser Konfrontation mit vagen "Stammtischweisheiten".

Es stellten sich die Fragen: Wie soll mit den aktuellen Ergebnissen umgegangen werden? Fachgerecht publizieren und damit wertvolle Zeit verstreichen lassen oder zu dem "Schuss aus der Hüfte" stehen und diesen mit harten Fakten belegen? Das Team entschied sich für die zweite Option und sollte Recht behalten. Denn gut zwei Jahre später wurden viele Kritiker eines Besseren beJohannes Thomas Weidinger (1)

lehrt, als das vermeintlich Unmögliche tatsächlich eintrat. Nach knapp hundert Jahren Pause wurde die altbekannte Massenbewegung (WEIDINGER, 2009) zwischen dem Nordfuß des Traunsteins und dem Traunsee-Ostufer verheerend aktiv.

Dieser Kurzaufsatz zum Vortrag am 22. Juni 2017 beginnt mit einem sehr gerafften Streifzug in die erdgeschichtlichen und historischen Fakten des Gschliefgrabens, geht dann aber sehr rasch den Fragen nach, was Fachleute und mit ihnen "<u>die Allgemeinheit</u>" über den Gschliefgraben und seine Gefährlichkeit wussten, bzw. wie und warum sich die von 2004 bis 2007 dort Forschenden so "weit hinauslehnen" konnten und sich ihrer Sache "so sicher" waren.

Auch das Phänomen der Resilienz samt dem Verdrängen wiederkehrender, traumatischer Erlebnisse seitens der einheimischen Bevölkerung schwingt im Folgenden mit – vor allem zwischen den Zeilen. Nicht zuletzt geht es auch um die Fragen der Verantwortung von Medien sowie der Akzeptanz geowissenschaftlichen Handelns in der Öffentlichkeit, also der Frage "Wie weit glaubt man den einen, wie weit den anderen?".

#### Die erdgeschichtlichen Fakten in aller Kürze

Die zwischen dem 995 m hohen Grünberg und dem 1.691 m hohen Traunstein liegende Gschliefgraben-Rutschung ist in ihrer heutigen Ausdehnung mit dem Abschmelzen des Farngruben-Gletschers (PREY, 1956; VAN HUSEN, 1977: 34, 44, Abb. 21) vom Spät- bis zum Postglazial entstanden und hat dabei ihre Stoßrichtung von NE–SW auf E–W geändert bzw. nach Osten erweitert (HEINE et al., 2016). Erst damit ging die großflächige Freilegung leicht erosionsanfälliger, ultrahelvetischer Mergel und Tonsteine einher, wodurch das Massenbewegungssystem erst so richtig "Fahrt aufnehmen" konnte (WEIDINGER & WEBER, 2010).

Das Phänomen Gschliefgraben-Rutschung in seiner heutigen Ausdehnung gibt es somit seit dem Abschmelzen des ehemaligen Östlichen

(1) Erkudok-Institut in den Kammerhof Museen Gmunden, Kammerhofgasse 8, 4810 Gmunden. www.k-hof.at, johannes.weidinger@gmunden.ooe.gv.at



#### Abb. 1.

Die geomorphologisch-paläogeografische Auswertung des geschummert dargestellten Airborne-Laser-Scan-Höhenmodells vom Gschliefgraben zeigt den Wechsel der Einzugsgebiete, der Abflussrichtungen sowie des Sedimenttransports vom frühen Spätglazial (a) zum frühen Postglazial (b) und den damit verbundenen Beginn der Bedrohung des späteren Siedlungsraumes am "Gschliefgraben Erdstrom-Muren- und Schwemmfächer" (verändert aus HEINE et al., 2016).

Traungletschers in der Traunsee-Wanne und insbesondere seit dem Eisfreiwerden der Traunstein-Nordwest-Wände (Abb. 1a, b). Es ist aber auch durchaus möglich, dass sich die alte Anlage des Abflusses nach Südwesten immer wieder dann reaktivierte oder dominant gegenüber dem E–W-Abfluss wurde, wenn im Gschliefgraben längere Phasen der Ruhe auftraten.

#### Die historisch dokumentierten, größten Katastrophen und ihre subaquatische Verifizierung

Mit der Besiedelung und Bewirtschaftung des Traunsee-Ostufers begann auch das Ringen des Menschen mit der Natur sowie den Naturgefahren aus dem Gschliefgraben (WEIDINGER, 2009).

In historischer Zeit ließ dann die Katastrophe von 1660/1664 (?) das "Harschengut", welches



Abb. 2.

ALS-Daten sowie ein subaquatisches Geländemodell des gesamten Gschliefgraben Erdstrom-Muren- und Schwemmfächers (zur Verfügung gestellt von Erwin Heine, Universität für Bodenkultur Wien, 2016) mit den wahrscheinlichsten Prozessen und Stoßrichtungen von Massen- und Sedimentumlagerungen in den Traunsee (a); Grafik und Interpretation: Johannes T. Weidinger & Joachim Götz, Universität Salzburg). Wie die Profillinie 1 (rot) im Vergleich zu anderen Profilen zeigt, dürfte es sich bei dem "Großen Uferbruch" von 1734, dessen Abbruchnische auch an der Uferlinie des Gschliefgrabenfächers morphologisch gut zu erkennen ist, um eine in Schollen zerlegte Rotationsgleitung gehandelt haben (b), verändert nach HEINE et al. (2016).

vermutlich etwas nördlich des heutigen Gasthofs Hois'n Wirt lag, im Traunsee verschwinden. Danach entstand im Jahr 1700 durch einen weiteren Erdstrom eine Bucht auf der Südseite des Schwemmkegels.

1734 "wanderten" gar vier kleinere Gehöfte in den Traunsee, bevor sie in weiterer Folge durch einen Uferbruch(?) spontan für immer in seinen Tiefen verschwanden (Косн, 1892; JEDLITSCHKA, 1990; WEIDINGER, 2009).

EISBACHER & CLAGUE (1984) sahen die weite Bucht zwischen dem Gasthof Hois'n Wirt und dem sogenannten Gschliefeck (Einmündung des Gschliefbaches in den Traunsee) als Nische dieser subaquatischen Gleitung. Diese Bucht könnte aber auch nur durch jenen Erdstrom geformt worden sein, der sich im Jahr 1700 in den Traunsee wälzte.



Abb. 3a-d.

Erdstrom älter als 1660 (orografisch links) im Bereich des heutigen Gasthofs Hois'n Wirt (a), die zentralen Erdströme von 1660/1664? und 1700 schieben sich in den Traunsee, wodurch sich die bis heute erkennbare Bucht nach Süden bildet und das Harschengut im See verschwindet (b), der

Durch den Erdstrom von 1910 bzw. durch rezente Bachsedimentation/Deltaschüttung könnte die Bucht weiter herausmodelliert worden sein. Denn aktuelle Untersuchungen sprechen eine andere Sprache: BAUMGARTNER & SORDIAN (1981, 1982) sowie später WEIDINGER (2010) konnten mit ihren morphostratigrafischen Kartierungen vom Muren- und Schwemmfächer die historischen Fakten zumindest an der Erdoberfläche eindrucksvoll belegen.

Neueste Untersuchungen des Traunseegrundes mit Sedimentecholot im Bereich der Nordhälfte des Gschliefgraben Erdstrom-Muren- und Schwemmfächers zeigen deutliche Anzeichen einer großen Rotationsgleitung (HEINE et al., 2016). Diese stellt aller Wahrscheinlichkeit nach das Abbild des historisch dokumentierten Großereignisses samt Uferbruch von 1734 dar (Abb. 2a, b).

Heute freilich erlaubt uns das Verständnis um den Mechanismus vermutlich all dieser Erdstrombewegungen (POISEL et al., 2011) recht gut, eine modellhafte Vorstellung zu entwerfen, was denn zwischen dem 17. und 18. Jahrhundert am

Gschliefgraben Erdstrom-Muren- und Schwemmfächer tatsächlich passierte. Die wohl spektakulärsten etwa 80 Jahre, die dieser Bereich des Traunsee-Ostufers und damit seine Bewohner und das von ihnen kultivierte Land je erlebt haben, können demnach wie folgt rekonstruiert werden (Abb. 3a–d).

Glücklicherweise kam es 2007 sowie in den Folgejahren durch die technischen Maßnahmen zu keiner ähnlichen Situation wie im Jahr 1734. Was aber wäre gewesen, wenn man nichts getan und damit den Prozessen freien Lauf gelassen hätte? Abbildung 3e soll davon eine vage Vorstellung geben. (WEIDINGER, 2011)

Erdstrom von 1734 verfrachtet allmählich vier Anwesen in den Traunsee (c), durch die Auflast der Gleitmassen von 1734 in Ufernähe kommt es zum partiellen Abgleiten des Schwemmfächers in den Traunsee (?), wodurch die Häuser gänzlich verschwinden (d). Legende siehe Abbildung 3e.

In historischer Zeit hat die Gschliefgraben-Rutschung also alleine schon durch ihre permanente Aktivität im oberen Einzugsbereich, vor allem aber durch ihre periodisch zunehmende Aktivität vermehrte Aufmerksamkeit der Anwohner und wirtschaftlichen Nutzer auf sich gelenkt. Dies vor allem dann, wenn zunehmende Aktivität in großen, regelmäßig stattfindenden Katastrophen akkumulierte. Die Kunde darüber wurde über Jahrhunderte tradiert, in manchen Fällen ist sie sogar schriftlich erhalten.

#### Abb. 3e.

Hätte man gegen den Erdstrom von 2007 keine Maßnahmen ergriffen, so wäre vermutlich eine ähnliche Situation wie 1734 eingetreten, das heißt, vor allem die Gebäude auf dem nördlichen und zentralen Teil des Schwemmfächers wären langsam in den Traunsee gewandert (aus WEIDINGER, 2011, verändert).

Bei den Abbildungen 3a-e sind jeweils in graugrüner Farbe die zahlreichen Abflüsse, Vernässungszonen und die durch Stauchwülste der Rutschung gestauten Tümpel auf und zwischen den aktiven Erdströmen sowie begleitende Schlammströme und Muren dargestellt. Diese hätten sich ohne gezielter Drainage zwangsläufig aus den Wildbächen und zwischen den Erdstromfronten gebildet.



#### Geologen und Geotechniker als Mahner vor den Rutschungen am Traunstein-Nordwestfuß

Nach der Entdeckung der besonderen Geologie des Gschliefgrabens (BOUÉ, 1832), war es u.a. EDUARD SUESS (1886: 2), der sich am Rande eines Gutachtens zur Wasserversorgung von Gmunden zu den Rutschungen mit folgenden Bemerkungen äußerte: "… es sind die grossen Rutschungen am Gschlief nichts anderes, als das Durchpressen der grossen Massen von Wasser, welche durch den Kalk gekommen … Keine menschliche Gewalt wird diese Schiebungen und Rutschungen aufhalten."

Den letzten Satz Suess' konnte auch wenige Jahre später Gustav Adolf Koch "… vollinhaltlich unterschreiben … " (KOCH, 1892: 33), der im Auftrag der "Forsttechnischen Abteilung für Wildbachverbauung" das erste richtige, geologische Gutachten zu den Gschliefgraben-Rutschungen verfasste. Auf dessen Basis legte Adalbert Pokorny, Sektionschef der Wildbach- und Lawinenverbauung (WLV) Oberösterreichs, einen Plan zur Drainage des gesamten Gebietes vor (WEIDINGER, 2009: 202), der damals aber aus wohl finanziellen Gründen nicht umgesetzt wurde (POKORNY, 1894).

Als Mitarbeiter der Geologischen Bundesanstalt konnte Siegmund Prey zuletzt im Jahr 1983 (PREY, 1983) den Gschliefgraben als tektonisches Fenster des Ultrahelvetikums deuten. Als bester Kenner der Verhältnisse meldete er sich aber auch immer dann populär zu Wort, wenn lokale Rutschungen im Bereich des Traunstein-Nordwestfußes auftraten; dies war u.a. bei der nahen Schobersteinrutschung der Fall. Im Gegensatz zu seinem Kollegen Gerhard Schäffer, der u.a. auch neotektonische Vorgänge entlang der Königssee-Lammertal-Trauntal-Störung (BAROŇ, 2013; DECKER et al., 1994) als Auslöser für möglich hielt (Daurer & Schäffer, 1983; "Salzkammergut-ZEITUNG", 1982), gab Prey forstlichen Maßnahmen, wie Kahlschlägen, die Schuld an den morphodynamischen Aktivitäten (PREY, 1982).

In die frühen 1980er Jahre fallen auch die Arbeiten von Peter Baumgartner und Kollegen sowie jene von Manfred JEDLITSCHKA (1990). Letzterer wurde mit seinen Bemühungen, große Bereiche des Muren- und Schwemmfächers in die "Rote Gefahrenzone" zu stellen, zum wohl eindrücklichsten Mahner vor weiteren Katastrohen, wenn auch sein aktives Handeln von anderen Fachleuten lapidar mit den Worten "In the uplands only marginally effective drainage ditches habe been excavated …" (EISBACHER & CLAGUE, 1984: 127) abgetan wurde. Diesen Autoren fiel aber auch "... the shore front itself partakes in the movement of the superincumbent debris" auf (EISBACHER & CLAGUE, 1984: 126).

Eine ganze Reihe von namhaften Fachleuten der klassischen oder technisch orientierten Geodisziplinen wies also in einer Vielzahl von Gutachten und Fachpublikationen auf das Gefahrenpotenzial der Massenbewegung Gschliefgraben hin und/ oder scheute auch nicht, vor möglicherweise katastrophalen, bevorstehenden Großereignissen indirekt oder direkt zu warnen.

Somit ist festzuhalten, dass nicht nur die spektakulären Geschichten vom Verschwinden von Häusern in den Tiefen des Traunsees im Volksmund tradiert bis heute lebendig erhalten blieben. Für jedermann – für Fachleute wie Anrainer, wo jedes Kind die schaurigen Geschichten kannte – war klar, was der Gschliefgraben ist und was er kann! Es wusste also so gut wie jeder von der Gefährlichkeit des Gschliefgrabens und niemand wurde je von seinen Erdströmen wirklich "überrascht". Von seinen Muren aber schon, weshalb der gesamte Muren- und Schwemmfächer des Gschliefgrabens im Jahr 1987 in die "Rote Gefahrenzone" gestellt wurde (WEINBERGER, 1975; JEDLITSCHKA, 1990; DIE.WILDBACH, 2000; GASPERL, 2009). Aber auch das wissenschaftliche Interesse an der ausgesprochen lebendigen Dynamik des Gschliefgrabens blieb bis zuletzt erhalten, was somit direkt oder indirekt zur "Vorhersage" der Ereignisse von 2007–2008 beitrug!

# Wegweisendes Monitoring und "Vorhersage" der Großrutschung 2007–2008

Franz Weber, damals Mitglied des Kuratoriums für Erdwissenschaften der Österreichischen Akademie der Wissenschaften (ÖAW), setzte sich für ein Forschungsprojekt in den Programmen "ISDR" und "Geophysik der Erdkruste" ein, im Zuge dessen von 2004 bis 2007 im Gschliefgraben getestet werden sollte, inwieweit geophysikalische Methoden (u.a. Geoelektrik, Seismik etc.) für die Untersuchung von Massenbewegungen, wie Rutschungen, geeignet wären (MILLAHN et al., 2008).

Im Zuge des Projektes, das von Karl Millahn geleitet wurde, zeigte sich, dass vor allem das Messverfahren der Geoelektrik, mit welchem Erich Niesner betraut war, wertvolle Informationen über die Veränderungen des Wasserhaushaltes im Untergrund des Gschliefgrabens lieferte. Und sehr bald sah man die Aussage von Косн



#### Abb. 4.

Prototyp-Monitoring im Gschliefgraben mittels Multi-Elektroden-Geoelektrik von Erich Niesner: Studenten der Montanuniversität Leoben (MU) als freiwillige Helfer bei der schwierigen Geländearbeit (a, b). Das von der MU-Leoben entwickelte und in einem Anhänger verbaute Set hatte

(1892) bestätigt, der damit jene zuvor von SUESS (1886) getätigte Aussage (siehe oben) richtiger formulierte, nämlich, dass u.a. auch das Traunsteinwasser ein Auslöser für die Rutschungen im Gschliefgraben sein könnte (WEIDINGER, 2009):

"Für die Rutschungen und Felsabstürze im Gschlief kann man das Traunsteinwasser nur insofern verantwortlich machen, als … Wassermassen der Regengüsse oder die Schmelzwässer des Schnees … succesive versikern, bis sie sich in den fast undurchlässigen Lias- und Kreidemergeln verfangen, deren Aufweichung und Zerfall sie bewirken helfen. Diese Aufweichung … trägt aber dazu bei, … das so nennenswerte Felsabstürze erfolgen, …" (Косн, 1892: 35).

Denn genau in jenem, von Koch gemeinten Bereich konnte von Erich Niesner ein initiales Rutschungsereignis geoelektrisch vorhergesagt werden (WEIDINGER et al., 2007: 64–65), das im Frühjahr 2006 vom Fuß der Nordwand des Traunsteins/Zirlerberges bis in den Gschliefgraben

auch eine eigene Energieversorgung (c). Wolfram Bitterlich von der WLV-Gebietsbauleitung OÖ-West (links) und Erich Niesner (rechts) beim Monitoring-Testbetrieb im Gschliefgraben, Juli 2007 (d).

reichte (WEIDINGER et al., 2011). Einzig der Österreichische Alpenverein (ÖAV) reagierte darauf und veräußerte u.a. deshalb recht günstig seine Talherberge am Schwemmfächer des Gschliefs (AIGNER, 2006a).

Mit zunehmender Modernisierung der Untersuchungsmethodik (SCHROTT & SASS, 2008), vor allem diverser tomografischer Verfahren bzw. Reliefanalyseverfahren (RST, ERT, ALS, TLS etc.) wurden also die altbekannten Hinweise auf zunehmende Aktivität des Gschliefgrabens auch durch harte Fakten/Daten untermauert und aussagekräftiger.

#### Abb. 5.

Ergebnisse der Eigenpotenzialmessungen (SP) von Erich Niesner entlang der ehemaligen Akkumulationszone während einer trockenen Periode im Juli 2006, ca. eineinhalb Jahre vor dem Durchbrechen dieser Massen in Richtung Traunsee im November 2007 (zur Lage des Profils, siehe Abbildung 6b). Die SP-Messungen zeigen eine

> generelle Grundwasserströmung hangabwärts an, wobei lokale Spannungszunahmen auf eine stärkere lokale Strömung hindeuten. Die darauf meist folgende stärkere Abnahme zeigt Stagnationszonen (= gestaute Wassertümpel) an (a). Erich Niesner am Herzstück seiner Geoelektrik im Gschliefgraben (b).





Im darauffolgenden letzten Jahr des Forschungsprojektes fing man daher zuallererst an, an jener erwähnten, heiklen Stelle ein geoelektrisches Monitoring zu installieren. Der energetisch völlig autarke Testbetrieb fand vom 13. bis zum 24. Juli 2007 statt und bestätigte die bereits von Suess und Koch vermuteten (teils unterirdischen) Wasserzutritte (NIESNER, 2010; Abb. 4a–d, 6b).

Gemeinsam mit der WLV arbeitete man nun auch an einer Lösung für das bevorstehende Problem und versuchte dabei herauszufinden, inwieweit sich der Wasserhaushalt weiter talwärts veränderte. Dabei gelang es Niesner mithilfe von Eigenpotenzialmessungen (= natürlich auftretendes elektrisches Potenzial) in den ehemaligen Akkumulationszonen der Erdstrommassen Grundwasserströme sowie zurückgestaute Wässer zu erkennen (Abb. 5a, b). Wie die Messungen zeigten, reagieren die Eigenpotenziale sehr empfindlich auf Strömungsvorgänge bzw. deren Änderungen im Untergrund. Niesner konnte somit zeigen, dass sich bereits die Erfassung des Gradienten des Eigenpotenzials als einfache Möglichkeit anbietet, das generelle Grundwasseraufkommen über die Grundwasserströmungsvorgänge als Eingangsparameter für ein Frühwarnsystem zu erfassen (NIESNER & WEIDINGER, 2008b).

In weiterer Folge konnte Erich Niesner aus mehreren, in größerem zeitlichen Abstand aufeinander folgenden Profilmessungen in Ost– West- bzw. Nord–Süd-Richtung mit der Multi-Elektroden-Geoelektrik über den unteren Murenund Schwemmfächer (bis zu einer Auslage von 1.100 m!) das sich anbahnende Großereignis qualitativ erkennen (NIESNER & WEIDINGER, 2008a, 2010), als von den Vorgängen im Untergrund an der Geländeoberfläche noch nichts zu sehen war (Abb. 6a, b).

#### Abb. 6.

Geoelektrikprofil von Norden nach Süden über den Muren- und Schwemmfächer des Gschliefgrabens aus dem Jahr 2006 mit der detektierten, späteren Gleitfläche des Erdstroms von 2007/2008 in ca. 20 m Tiefe samt dessen Ausdehnung (a).

Detail aus dem geoelektrischen Tallängsprofil (Ost–West) aus dem Jahr 2004 und seine Veränderung im Jahr 2006; die Ausdehnung der niederohmigen (feuchten) Zone ist gut erkennbar; daneben Lage der Monitoring- und SP-Testprofile sowie der vorgeschlagenen Drainagebohrung (b).

Beide Profile gemessen und interpretiert von Erich Niesner (MU-Leoben); die Airborne-Laser-Scan-Daten für



Obwohl es nicht automatisch zu den Aufgaben eines Projektteams gehört, Ergebnisse von in der Testphase befindlichen (und nicht abgeschlossenen!) Untersuchungen an die Öffentlichkeit zu bringen, entschloss sich Niesner aber dazu. Und obwohl es mit dieser geringen Anzahl an Profilmessungen <u>unmöglich war, das bevorstehende</u> <u>Ereignis auch quantitativ zu beurteilen, geschwei-</u> <u>ge denn, den genauen Zeitpunkt des tatsächli-</u> <u>chen Eintretens exakt vorherzusagen</u>, entschloss sich die WLV als Folge darauf zu einer Reihe von sofortigen Maßnahmen, wie etwa der

- Neuinstallation der Wetterstation (im oberen Gschliefgraben) und der Abflussmessungen (im unteren Gschliefgraben) samt digitaler Datenübertragung sowie der
- baulichen Erneuerung der Dammkonstruktion zur Beileitung des Liedringbaches in den Gschliefbach, um das Wasser kontrolliert und nicht in die Rutschung abfließen zu las-

sen, was sich in weiterer Folge als wertvolle Hilfe bei der Bewältigung der Rutschmassen 2007–2008 herausstellen sollte.

Wie aber nicht mehr zu verhindern war, gerieten im November 2007 als zeitverzögerte Folge ("undrained loading", WILSON et al., 2003) des oben erwähnten, initialen Ereignisses vom April 2006 nahezu vier Millionen Kubikmeter Material mit Geschwindigkeiten von bis zu knapp 5 m pro Tag in Bewegung (GASPERL, 2009) und reaktivierten mit dem rechten Teil des Muren- und Schwemmfächers genau jenen, vermeintlich konsolidierten Bereich, in dem Erich Niesner ein Jahr zuvor die sich anbahnende Großrutschung sowie deren Gleitfläche in ca. 20 m Tiefe detektieren konnte.

Der Rest des Großereignisses ist hinlänglich bekannt und nicht Thema dieses Vortrages.



#### Der Stellenwert der Forschungsergebnisse während der Katastrophenbewältigung

In jenen Wochen und Monaten des Bangens, in denen hunderte Journalisten im In- und Ausland vom Geschehen im Gschliefgraben berichteten, fiel nur ein Artikel auf (SCHMID, 2007), der sich von allen anderen alleine dadurch unterschied, dass er bereits im Titel unschwer erkennen ließ, dass die Katastrophe alles andere als überraschend kam. Doch daraus wollte das Projektteam keinen Profit schlagen! Stattdessen stellten einige Mitarbeiter – allen voran Franz Weber und Erich Niesner – ihr Fachwissen ehrenamtlich für die Lösung der anstehenden Probleme zur Verfügung.

In den ersten Tagen des Krisenmanagements diente das Erkudok-Institut in den sich damals im Umbau befindlichen Kammerhof Museen Gmunden als Treffpunkt für alle Befassten und Betroffenen. Bereits am 29. und am 30. November 2007 konnte dort der Autor dieser Zeilen aufgrund der vorhandenen Datenlage den Verlauf der sich anbahnenden Verheerungen am Muren- und Schwemmfächer mit einer Reaktivierung des Ereignisses von 1734 vergleichen und damit die bevorstehende Ausdehnung eingrenzen (GANTNER, 2007; Abb. 7b). Diese Prognosen wurden nicht nur durch nachfolgende Bohrungen bestätigt, sondern halfen vor allem bei der Festlegung der Dauer der Evakuierung – im Süden war diese mit Auflagen ca. zwei Wochen lang, im Norden hingegen ca. acht Monate!

Auf der geomorphologischen Analyse der ALS-Daten sowie der paläogeografischen Rekonstruktion mit der Änderung des Einzugsgebietes im Liedring-Gschlief-Abflusssystem (WEIDINGER & NIESNER, 2009; Abb. 1a, b) beruht auch die technische Maßnahme der Abspundung des Liedringbaches, welche einen wertvollen Beitrag zur Verlangsamung des Erdstroms 2007–2008 darstellte (GASPERL, 2009).

Das von Erich Niesner u.a. durch Eigenpotenzial-Messungen detektierte, aus Nordosten oberirdisch und unterirdisch zufließende Wasser beschleunigte den Erdstrom orografisch rechts (NIESNER & WEIDINGER, 2010). Die Beileitung des Liedring- in den Gschliefbach konnte daher nicht mehr aufrechterhalten werden und die Anlage eines neuen Liedring-Bachbettes in Richtung Westen wurde notwendig.

Eine technische Lösung für die vom Zirlerberg und der Traunstein-Nordwand kommenden, sich anstauenden Wässer hätte eine horizontale Drainagebohrung von Westen nach Osten sein können (Abb. 6b). Eine solche sowohl von Franz Weber als auch von Erich Niesner angedachte Variante zur Drainage der <u>auch in der Zukunft vielleicht heikels-</u> ten Stelle des Gschliefgrabens überhaupt wurde nach den Ereignissen von 2007–2008 allerdings nie in Betracht gezogen, geschweige denn in späterer Folge umgesetzt. Zukünftig könnten aber zumindest Geophone Bewegungen an diesem Steilhang erfassen (SUPPER, 2012).

Auch das im Zuge des Forschungsprojektes Safe-Land viel später getestete, geoelektrische Monitoring (SUPPER et al., 2013) baut auf den Pionierarbeiten von Niesner und seinen Kollegen auf (Abb. 4a–d, Abb. 6b).

#### Der Stellenwert der Ergebnisse des ÖAW-Forschungsprojekts nach "getaner Arbeit"

Bei der Präsentation am 14. Juli 2004 im Erkudok-Institut begrüßte der damalige Gmundner Bürgermeister Heinz Köppl das ÖAW-Forschungsprojekt deshalb (Abb. 7a), weil " … daraus auch Rückschlüsse auf mögliche zukünftige Verheerungen und deren Prävention abgeleitet werden können." ("SALZKAMMERGUT RUNDSCHAU", 2004).

Als sich das Forscherteam mit dem Abklingen der "heißen Phase" der Katastrophe 2007–2008 (Abb. 7b) allmählich aus dem Krisenstab zurückzog und das Arbeitsfeld endgültig der WLV mit ihren Konsulenten überließ, ließ auch das Interesse an dem zuvor Erforschten spürbar nach.

Ein Jahr nach dem Eintreten des Katastrophenfalles im Gschlief wurde von Seiten der Stadtgemeinde Gmunden all jenen mit Ehrungen und Urkunden gedankt, "… welche es letztendlich geschafft haben, dass die Rutschung zum Stillstand gekommen ist." (STADTGEMEINDE GMUNDEN, 2008).

Bei der Darstellung der Chronologie der Ereignisse verzichtete man darauf, die Zeit der ergiebigen Forschungen vor dem Ausbruch der Großrutschung zu erwähnen; des Weiteren wurde kolportiert, die Rutschung wäre eher zufällig bei Routinearbeiten eines Försters entdeckt worden. Kurzum, es waren weder die, über Jahre im Vorfeld und während der Katastrophe dort arbeitenden Wissenschaftler samt freiwilligen Studenten der Montanuniversität Leoben, noch Vertreter der Österreichischen Akademie der Wissenschaften als deren Geldgeber unter den Geehrten.

Niemand fand sich, für diese kostenlosen Forschungen und ehrenamtlichen Expertisen öffentlich danke zu sagen!



#### Abb. 7.

Im Juli 2004 begrüßt Bürgermeister Heinz Köppl das ÖAW-Forschungsprojekt im Gschliefgraben und seine Protagonisten Franz Weber, Johannes T. Weidinger, Christian Schmid samt Kollegen vom Joanneum Research Leoben und Karl Millahn (a, v.l.n.r.); bereits dreieinhalb Jahre später waren die daraus gewonnenen Erkenntnisse eine wertvolle Hilfe, als die Krisenmanager Peter Baumgartner, Michael Schiffer von der WLV, Vizebürgermeister Wolfgang Sageder, Bürgermeister Heinz Köppl und der Autor (die ersten fünf von rechts in Abbildung b) den Betroffenen anhand des Traunsee-Ostufer-Modells die bevorstehende, kritische Situation und ihre vermutliche Entwicklung erklären konnten (aus STADTGEMEINDE GMUNDEN, 2007: 5).

#### Literatur

- AIGNER, J. (2005): Jahrhundertrutschung droht: Forscher aktiv. "Salzkammergut-Rundschau", Nr. **39** vom Mittwoch, 28. September 2005, Gmunden.
- AIGNER, J. (2006a): Talherberge wird privat. "Salzkammergut-Rundschau", Nr. 36 vom Mittwoch, 6. September 2006, Gmunden.
- AIGNER, J. (2006b): Erdstrom könnte auch Häuser mitreißen. "Salzkammergut-Rundschau", Nr. **16** vom Mittwoch, 19. April 2006, Gmunden.
- BAROŇ, I. (2013): Report on airborne 3D-anaglyph mapping of potential open fissures at Mount Traunstein (Gmunden). – Arbeitsbericht der Geologischen Bundesanstalt, 23 S., Wien.
- BAUMGARTNER, P. & SORDIAN, H. (1981): Zur geomorphologischen Karte des Erd- und Schuttstromkegels des Gschliefgrabens bei Gmunden (Oberösterreich) mit 1 geomorphologischen Karte. – Geologisch-Paläontologische Mitteilungen Innsbruck, **10**/8, 259–262, Innsbruck.
- BAUMGARTNER, P. & SORDIAN, H. (1982): Zum horizontalen und vertikalen Aufbau des Erd- und Schuttströme-Kegels des Gschliefgrabens am Traunsee bei Gmunden (Oberösterreich). – Jahrbuch des Oberösterreichischen Musealvereins, 127, 227–236, Linz.
- Boué, A. (1832): Description de divers gisement intéressans de fossiles dans les Alpes auchtrichiennes. – Memoires geologiques et paleontologiques, 1, 185–241, Paris.
- DAURER, A. & SCHÄFFER, G. (Eds.) (1983): Arbeitstagung der Geologischen Bundesanstalt 1983, 37–41, Wien.
- DECKER, K., PERESSON, H. & FAUPL, P. (1994): Die miozäne Tektonik der östlichen Kalkalpen: Kinematik, Paläospannungen und Deformationsaufteilung während der "lateralen Extrusion" der Zentralalpen. – Jahrbuch der Geologischen Bundesanstalt, **137**/1, 5–18, Wien

- DIE.WILDBACH FORSTTECHNISCHER DIENST FÜR WILDBACH- UND LAWINENVERBAUUNG, SEKTION OÖ, GEBIETSBAULEITUNG SALZ-KAMMERGUT (2000): Gefahrenzonenplan Gmunden (1. Revision). – Gemeinde Gmunden, Bezirk Gmunden (unveröffentlicht), Gmunden.
- EISBACHER, G.H. & CLAGUE, J.J. (1984): Destructive movements in high mountains, Hazard and Management. – Geological Survey of Canada, Paper **84-16**, 126–127, Ottawa.
- GANTNER, C. (2007): Jahrhundert-Mure droht 12 Häuser zu vernichten. "Kronenzeitung" vom Samstag, 1. Dezember 2007, 12–13, Wien–Linz.
- GASPERL, W. (2009): Katastrophenbewältigung und Maßnahmen im Gschliefgraben (Gmunden/Oberösterreich). – In: WEIDINGER, J.T. & KÖCK, G.: ÖAW-Gschliefgraben-Symposium, Proceedings vom 1. April 2009, 45–58, Wien.
- HEINE, E., WEIDINGER, J.T. & GÖTZ, J. (2016): Geologisch-geomorphologische Untersuchungen des subaquatischen Bereichs von Erdströmen in den Traunsee (OÖ) unter Anwendung von Fächerecholot und parametrischem Sedimentecholot. – Vermessung & Geoinformation (VGI), Sonderausgabe "Gewässer", Heft 1/2016, 25–37, Wien.
- HUSEN VAN, D. (1977): Zur Fazies und Stratigraphie der jungpleistozänen Ablagerungen im Trauntal. – Jahrbuch der Geologischen Bundesanstalt, **120**, 1–130, Wien.
- JEDLITSCHKA, M. (1990): Analyse von Massenbewegungen in Verwitterungsdecken auf Flysch und Buntmergel und deren Stabilitätsverbesserung am Beispiel des Gschliefgrabens bei Gmunden. – Dissertation, Universität für Bodenkultur Wien, 158 S., Wien.
- Косн, G.A. (1892): Geologisches Gutachten über die projektierte Verbauung des Gschliefgrabens bei Gmunden behufs der Hintanhaltung von den bedrohlichen Rutschungen. – Unveröffentlichtes Gutachten, Universität für Bodenkultur Wien, 50 S., Wien.

- MILLAHN, K., GRASSL, H., HYDEN, W., KERSCHNER, F., MORAWETZ, R., NIESNER, E., SCHMID, C., WEBER, F. & WEIDINGER, J.T. (2008):
  Ergebnisse geophysikalischer Untersuchung im Gschliefgraben bei Gmunden/OÖ im Hinblick auf die Massenbewegungen. – Jahrbuch der Geologischen Bundesanstalt, **148**/1, 117–132, Wien.
- NIESNER, E. (2010): Subsurface resistivity changes and triggering influences detected by continuous geoelectric monitoring. – The Leading Edge, **29**/08, 952–955, Tulsa.
- NIESNER, E. & WEIDINGER, J.T. (2008a): Investigation of a historic and recent landslide area in Unltrahelvetic sediments at the northern boundary of the Alps (Austria) by ERT measurements. – The Leading Edge, **27**/11, 1498–1509, Tulsa.
- NIESNER, E. & WEIDINGER, J.T. (2008b): Beiträge und Möglichkeiten der Geophysik zur Erkennung und Beobachtung von rutschgefährdeten Hängen. – Analyse der aktuellen Ereignisse im Gschliefgraben aus geophysikalischer Sicht. – Tagungsband des 10. Geoforums, Umhausen.
- NIESNER, E. & WEIDINGER, J.T. (2010): Beiträge und Möglichkeiten der Geophysik zur Erkennung und Beobachtung von rutschgefährdeten Hängen. – Analyse der Ereignisse im Gschliefgraben aus geophysikalischer Sicht. – In: WEIDINGER, J.T. & KÖCK, G. (Hrsg.): ÖAW-Gschliefgraben-Symposium, Proceedings vom 1. April 2009, 33–43, Österreichische Akademie der Wissenschaften, Wien–Gmunden. DOI: https://dx.doi.org/10.1553/gde2010.
- POISEL, R., HOFMANN, R., PREH, A., SAUSGRUBER, T. & SCHIFFER, M. (2011): Lessons learned from Gschliefgraben mudslide (Austria). – Geomechanics and Tunneling, **4**/5, 445–453, London.
- POKORNY, A. (1894): Motivenbericht zum Projekte über die Verbauung des Gschliff oder Gschliefgrabens bei Gmunden. – Handgeschriebenes Gutachten, 12 S., Linz.
- PREY, S. (1956): Die eiszeitlichen Gletscher im Traunstein-Zwillingskogel-Kamm und im Almtal bei Gmunden. – Zeitschrift für Gletscherkunde und Glazialgeologie, **III**/2, 213–233, Innsbruck.
- PREY, S. (1982): Abholzung rief Erdrutsch "unterm Stein" hervor. – "Salzkammergutzeitung" (zitierter Leserbrief), Nr. 32, vom 12. August 1982, 5, Gmunden.
- PREY, S. (1983): Das Ultrahelvetikum-Fenster des Gschliefgrabens südsüdöstlich von Gmunden (Oberösterreich). – Jahrbuch der Geologischen Bundesanstalt, **126**/1, 95–127, Wien.
- "SALZKAMMERGUT RUNDSCHAU" (2004): Geoforschung für die allgemeine Sicherheit. – SR **30**, vom 21. Juli 2004, 8, Gmunden.
- "SALZKAMMERGUTZEITUNG" (1982): Waldhang rutscht auf Traunsteinstraße. – SZ **22**, vom 3. Juni 1982, Gmunden.
- SCHMID, B. (2007): Vor einer Katastrophe schon lange gewarnt. – "Salzburger Nachrichten", vom 5. Dezember 2007, 4, Salzburg.
- SCHROTT, L. & SASS, O. (2008): Application of field geophysics in geomorphology: Advances and limitations exemplified by case studies. – Geomorphology, **93**, 55–73, Amsterdam.
- STADTGEMEINDE GMUNDEN (Hrsg.) (2007): Im Katastrophengebiet. – Mittendrin, Dezember 2007, 4–5, Gmunden.
- STADTGEMEINDE GMUNDEN (Hrsg.) (2008): 1 Jahr "Gschlief": Das Bangen hat ein Ende. – Mittendrin, Dezember 2008, 3, Gmunden.

- SUESS, E. (1886): Gutachten des Professors Dr. Eduard Sueß in der Wasserversorgung der Stadt Gmunden. – Beilage zum Gmundner Wochenblatt, Nr. **46** (1886), 7 S., Gmunden.
- SUPPER, R. (2012): Wissen ist (Geo-)Gefahrenprävention was wir an der Geologischen Bundesanstalt dafür tun. – Unveröffentlichte ppt-Präsentation, 34 Folien, Wien.
- SUPPER, R., JOCHUM, B., KIM, J-H., OTTOWITZ, D., PFEILER, S., BARON, I., RÖMER, A., LOVISOLO, M. & MOSER, G. (2013): The TEMPEL geoelectrical monitoring network for landslides: Highlights of tecent monitoring results. – Berichte der Geologischen Bundesanstalt, **93**, 144–151, Wien.
- WEIDINGER, J.T. (2009): Das Gschliefgraben-Rutschgebiet am Traunsee-Ostufer (Gmunden/OÖ) – ein Jahrtausende altes Spannungsfeld zwischen Mensch und Natur. – Jahrbuch der Geologischen Bundesanstalt, **149**/1, 195–206, Wien.
- WEIDINGER, J.T. (2010): Die geologisch-geomorphologische Kartierung des Gschliefgraben-Rutschgebiets bei Gmunden (OÖ) in den Jahren 2004–2007. – In: WEIDINGER, J.T. & KÖCK, G. (Hrsg.): ÖAW-Gschliefgraben-Symposium, Proceedings vom 1. April 2009, 7–12, Österreichischen Akademie der Wissenschaften, Wien-Gmunden. DOI: https://dx.doi.org/10.1553/gde2010
- WEIDINGER, J.T. (2011): "Was wäre gewesen, wenn …?" Vier Jahre nach der Jahrhundertrutschung aus dem Gschliefgraben bei Gmunden. – Mach 2-Zeitschrift für Technikgeschichte, **02**/2012, 63–69, Linz.
- WEIDINGER, J.T. & NIESNER, E. (2009): Die Rolle der Geomorphologie bei der Sanierung der Gschliefgraben-Erdströme. –
  Pilotprojekt zur nachhaltigen Untersuchung katastrophaler Massenbewegungen im Salzkammergut. In: WEINGARTNER H. (Hrsg.): Landschaft und nachhaltige Entwicklung, Band 2 (Dachstein und Salzkammergut), 39–54, Salzburg.
- WEIDINGER, J.T. & WEBER, F. (2010): Ergebnisse und geologische Interpretation der seismischen Messungen am Schuttkegel der Gschliefgraben-Erdströme bei Gmunden (OÖ) im Jahre 2004. – In: WEIDINGER, J.T. & KÖCK, G. (Hrsg.): ÖAW-Gschliefgraben-Symposium, Proceedings vom 1. April 2009, 13–32, Österreichische Akademie der Wissenschaften, Wien– Gmunden.
- WEIDINGER, J.T., NIESNER, E. & MILLAHN, K. (2007): Interpretation angewandt geologisch-geoelektrischer Untersuchungen in der Gschliefgraben-Rutschung am Traunsee-Ostufer (Gmunden/Oberösterreich). – In: EGGER, H. & RUPP, C. (Hrsg.): Beiträge zur Geologie Oberösterreichs, 57–72, Geologische Bundesanstalt, Wien.
- WEIDINGER, J.T., NIESNER, E. & MILLAHN, K. (2011): Chronicle of an Earthflow foretold – the 2008 Gschliefgraben event, Austria. – Zeitschrift für Geomorphologie, **55**, Supplement 3, 375–407, Stuttgart.
- WEINBERGER P. (1975): Gefahrenzonenplan am Schwemmkegel des Gschliefgrabens. – Diplomarbeit, BOKU Wien, 50 S., Wien.
- WILSON, A.J., PETLEY, D.N. & MURPHY, W. (2003): Down-slope variation in geotechnical parameters and pore fluid control on a large-scale Alpine landslide. – Geomorphology, 54, 49–62, Amsterdam.

## Gschliefgraben 2007–2017: 10 Jahre nach dem Großereignis – Evaluierung der Maßnahmensetzung – Blick in die Zukunft

MICHAEL SCHIFFER (1)

#### Einleitung

Das letzte Ereignis im Gschliefgraben (Abb. 1) hat die Richtigkeit des aktuellen Gefahrenzonenplans der Wildbach- und Lawinenverbauung (WLV) vollinhaltlich bestätigt. Nur die Ausscheidung des gesamten Schwemmkegels als Rote Wildbachgefahrenzone trägt der Dynamik des vorliegenden Naturraumes entsprechend Rechnung und schließt neben dem abgelaufenen Erdschuttstromgeschehen noch mögliche Wildbach- und Murgangprozesse mit ein. Dass das letzte Ereignis mit Beginn am 28. November 2007 letztendlich noch vor nennenswerten Gebäudeverlusten zur Ruhe gebracht werden konnte, war nur durch rasches und entschlossenes Handeln möglich. Vor allem die sofortige und konsequente Ausleitung der ankommenden Wässer aus der Rutschmasse seit Beginn des Ereignisses mittels offener Ableitungsgräben und ergänzenden Rohrleitungssystemen sowie die umfassende Tiefenentwässerung (mehrere bis rund 12,0 m tiefe Längs- und Querdrainagen in Kombination mit ca. 280 Stück rund 22,0–24,0 m tiefen Bohrbrunnen) haben letztlich den Erfolg gezeitigt.

Der Erfolg wäre aber nicht möglich gewesen, wenn nicht von erster Stunde an die erforderliche Einsatzbereitschaft des Bundesministeriums für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft (BMLFUW) in Form der WLV und ihrer örtlich zuständigen Dienststellen (Gebietsleitung und Sektion Oberösterreich) und der unbändige gemeinsame Wille der sachlich zuständigen Behörden und politischen Gremien (2-maliger positiver Ministerratsbeschluss zur Freigabe der erforderlichen Mittel) vorhanden gewesen wäre.

Die seit nunmehr über 130 Jahren gewachsene Organisationsstruktur der Wildbach- und Lawinenverbauung als unmittelbare Dienststelle des BMLFUW, eingebettet in ein funktionierendes

Abb. 1. Der Gschliefgraben (Arbeitstand: Juli 2008).



(1) Wildbach- und Lawinenverbauung, Forsttechnischer Dienst, Gebietsbauleitung Oberösterreich West, Traunreiterweg 5, 4820 Bad Ischl. *michael.schiffer@die-wildbach.at* 



Abb. 2. Oberste Querdrainage im Gschliefgraben 2008.

Katastrophenschutzsystem der Länder hat sich durch rasches und schlagkräftiges Agieren ausgezeichnet und die Vorteile des vorhandenen forsttechnischen Systems Planung-Umsetzung und Förderungsabwicklung in einer Hand (onestopshop) eindrucksvoll vor Augen geführt.

Trotz des errungenen Erfolges ist jedoch größte Vorsicht geboten. Beruhigt hat sich bislang nur der unterste, besiedelte Geländeabschnitt (eigentlicher Schwemmkegel). Das vorhandene Sammelgebiet im Mittellauf, unmittelbar oberhalb der letzten Querdrainage (Abb. 2) und vor allen der hoch aktive Oberlauf machen den Gschliefgraben zu einer sicherheitstechnischen Daueraufgabe.

#### Ereignishergang

• 10./14.04.2006:

In der Karwoche des Jahres 2006 kam es zu einer Massenbewegung aus dem südlichen Grabeneinhang im Gschliefgraben. Es wurden dabei ca. 70.000 m<sup>3</sup> bestehend aus Schutt und unterliegenden Lias-Fleckenmergel aufgrund von anhaltenden ergiebigen Niederschlägen und aufgrund der lang anhaltenden Schneebedeckung des Winters 2005/2006 sowie der Schneeschmelze 2006 aktiviert. Die Masse von 70.000 m<sup>3</sup> belastete dadurch die durchnässten Buntmergel (Helvetikum), die einen 25.000 m<sup>3</sup> großen Blockschuttstrom im Gschliefgraben aktivierten.

#### • 06.-07.09.2007:

Starke Erosionsschäden und Anlandungen im Bereich der Lidringgraben-Beileitung (rechtsufrig im Außenbogen Beileitungsdamm). Sanierung dieser Schäden durch ein SM Bauprogramm Gschliefgraben/Lidringgraben 2007 (Abb. 3).

Abb. 3. Neuhergestellte Ableitung: Neulidringgraben.



#### • 28.11.2007:

Am 28. November 2007 setzten sich im Bereich der Gschliefgraben-Forststraße (bei ca. Hm 11,0) die seit etwa 100 Jahren im Gschliefgraben akkumulierten Erdmassen in Form eines gewaltigen Erdstromes in Bewegung (Abb. 4). Die dabei registrierten Bewegungsraten erreichten in diesem Bereich anfangs 4,0-4,4 m/Tag. Als Auslösung wird die starke Akkumulation von Material (Auflast) im oberen Grabeneinzugsgebiet gesehen: Der Blockschuttstrom vom Ereignis des Jahres 2006 bewegte sich talwärts und belastete in Folge den Haupterdstrom im Gschliefgraben. Der dabei weitergegebene Impuls dürfte der Auslöser für die Mobilisierung des großen Erdstromes Ende November 2007 gewesen sein. Durch die enormen Bewegungsraten kam es zu einer



großen Massenverlagerung (Geländedepressionen von bis zu 7,0 m im Oberlauf bei der Gschliefgraben-Forststraße; Massenakkumulation oberhalb des Dauersiedlungsraumes mit Höhen bis zu 5,0 m), wobei in weiterer Folge im Mittellauf und am Schwemmkegelhals alte Erdstromablagerungen vergangener Ereignisse (vor allem von 1910 und 1734) in einem Ausmaß von ca. 5 ha mobilisiert wurden. Diese drängten in Richtung des Dauersiedlungsraumes und bedrohten akut 15 Liegenschaften. Die gesamte Erdstrommasse kann bei einer Fläche von 22,0 ha mit ca. 1.500.000–2.800.000 m<sup>3</sup> abgeschätzt werden (MARSCHALLINGER, 2008).

Mit dem Beginn der Maßnahmensetzung im Jahr 2007 kam es laufend zu neuen Ereignissen, welche die laufenden Arbeiten erschwerten und

> eine ständige Anpassung der geplanten Maßnahmen an die aktuellen Ereignisse und naturräumlichen Gegebenheiten erforderlich machten.

#### Verbauungsgeschichte

Die ersten Verbauungen im Gschliefgraben und im Lidringgraben erfolgten auf Grundlage eines Detailprojektes von 1911 durch einzelne Bauprogramme in den Jahren 1913 bis 1923. Die durchgeführten Maßnahmen wurden mit Zahl 24166 vom 16.06.1924 kollaudiert.

Neben mehreren Bauprogrammen und Sofortbauprogrammen (1923, 1948, 1955, 1957, 1959, 1961, 1962 I, II und III, 1963, 1966, 1974, 1976 I und II, 1987, 2007, 2008) wurden bisher ein Generelles Projekt 1894, ein Verbauungsprojekt 1911 und ein Verbauungsprojekt 1978 umgesetzt.

Abb. 4. Beginn des letzten Ereignisses am 28. November 2007. Von 1975 bis 1985 wurde das Phänomen des Erdstromes im Gschliefgraben hinsichtlich seiner Bedeutung für die Gefahrenzonenplanung und seine mögliche Stabilisierung intensiv untersucht. Die Untersuchungsergebnisse werden von JEDLITSCHKA (1990) dargestellt.

Außerdem zählen zur Verbauung im Gschliefgraben die Drainagen und Sickerschlitze im oberen Einzugsgebiet, die durch Entzug des Bewegungsmediums Wasser die Bewegung des Schlammstromes bremsen sollten. Diese Maßnahmen wurden gemeinsam mit Maßnahmen im Zuge des Hochwasserereignisses von 1987 zwischen 1987 und 1988 ausgeführt und 1991 (genehmigt mit Zahl: 150.742/01-VC8/91 vom 13.09.1991) kollaudiert. In den Jahren 1989 bis 1993 wurden im Gschliefgraben diverse Sanierungsmaßnahmen durchgeführt und 1995 (genehmigt mit Zahl: 150.742/01-VC8/95 vom 11.01.1996) kollaudiert. Eine weitere Kollaudierung über umgesetzte Sanierungsmaßnahmen fand im Jahr 2000 statt. Ihr Ergebnis wurde vom BMLFUW mit Zl. 150.742/01-VC7/2000 vom 18.10.2000 genehmigt.

## Getroffene Maßnahmen nach Ereigniseintritt vom 28.11.2007

Infolge der Aktivierung des Erdstromes im Gschliefgraben vom November 2007 und der akuten Bedrohung der am Schwemmkegel situierten Liegenschaften sowie der Infrastruktur wurden im Winter 2007/2008 sowie im Frühjahr 2008 umfangreiche Sofortmaßnahmen im gegenständlichen Einzugsgebiet durchgeführt. Diese Sofortmaßnahmen wurden im Jahr 2009 (genehmigt mit Zahl: BMLFUW-LE.3.3.5/0285-IV/5/2009 vom

Abb. 5. Bohrbrunnen im Bereich der Traunsteinstraße.



31.08.2009) kollaudiert. Weiters wurden im Zuge des vergangenen Ereignisses das Projekt 2008 und das Folgeprojekt 2008/II ausgearbeitet und umgesetzt (2011/2012). Nach dem Projekt 2008/ II mussten aufgrund zahlreicher Ereignisse weitere Sofortmaßnahmen (SM 2012, SM 2013, SM 2016) durchgeführt werden.

#### Ereignisbewältigung – Maßnahmensetzung – Restrisiko

Der langanhaltende Katastrophenzustand von 28. November 2007 (mit Evakuierungen im Dezember 2007) bis Mitte August 2008 (Freigabe zur Wiederbenutzung der evakuierten Wohnhäuser unter Vorschreibung verschiedener Sicherheitsauflagen) war für alle Beteiligten eine starke Herausforderung und auf Grund wechselnder Erfolgsaussichten mitunter auch stark emotional geprägt.

Die noch am Tag des Ereigniseintrittes begonnenen Sofortmaßnahmen zur Ableitung der ankommenden Oberflächenwässer gemeinsam mit der intensiven Maßnahmensetzung zur Stabilisierung der Rutschmassen in den Jahren 2007/2008 durch Tiefendrainagen, geschlossene Ableitungssysteme, Notstraßen, Bohrbrunnen (Abb. 5), Abspundungen und ergänzende schubspannungsreduzierende Geländemodellierungen machten das unmöglich scheinende möglich. Das Projekt-Team bestehend aus WLV-Mitarbeitern und ausgewählten externen Fachleuten brachte durch ständiges Beobachten der natürlichen Abläufe (Bewegungsmonitoring) und gezielte Analysen der ablaufenden Entwicklungen ein abgestimmtes Maßnahmenbündel zur Umsetzung, welches schließlich die Rutschmasse zum Stillstand brachte. Dass im gegenständlichen Fall Erfolg und Misserfolg knapp beieinanderliegen, bezeugen die durchgeführten Standsicherheitsberechnungen, die im Bereich der Bohrbrunnen eine Standsicherheit von ca. 1,02-1,05 bescheinigen. Das bedeutet, dass die erreichte "Sicherheit" sehr gering ist und ein sehr hohes Restrisiko vorliegt und das erreichte Sicherheitsniveau nach wie vor einer Roten Gefahrenzone entspricht. Relativ geringe Änderungen im System können ausreichen, um aus dem momentan erreichten stabilen bzw. pseudostabilen Gleichgewichtszustand wieder in einen labilen bzw. instabilen Systemzustand zu gelangen.

Aus diesem Bewusstsein heraus wurde trotz des erreichten, momentanen Ruhezustandes im untersten Geländeabschnitt im Rahmen des vorläufigen Projektabschlusses (Folgeprojekt 2008/II) in den Jahren 2011/2012 in Zusammenarbeit mit der Geologischen Bundesanstalt (GBA) am Projekt SAFELAND (EU-Projekt) mitgearbeitet. Im Rahmen dieses Projektes wurde der Gschliefgraben eines von mehreren europaweiten Testgebieten und am Stand der Wissenschaft erforscht, was in Anbetracht des geringen Sicherheitsniveaus von unschätzbarem Wert für die weitere Einschätzung des gegenständlichen Naturraumes ist.

Ohne verlässlichem und funktionierendem Monitoring- und Frühwarnsystem mit entsprechendem Notfall- und Evakuierungsplan ist eine Dauerbesiedlung des Gschliefgrabens sicherheitstechnisch unverantwortlich und nicht vertretbar (siehe Auflagen Wiederbesiedlung vom August 2008).

#### Weitere Schritte: Monitoring – Frühwarnung, Notfall- und Evakuierungsplan, Instandhaltung

Leider ist das diesbezügliche Problembewusstsein bei nicht allen Akteuren bzw. potenziellen Interessenten entsprechend gegeben und so musste ein geplantes Projekt Monitoring- und Frühwarnung mangels Akzeptanz und fehlender Mittel der Interessentenschaft bislang zurückgestellt werden.

Nichtsdestotrotz ist es unumgänglich bei gewünschter Aufrechterhaltung des Dauersiedlungsraumes ein funktionierendes Monitoringund Frühwarnsystem zu installieren (Abb. 6) und darauf aufbauend ein entsprechendes Sicherheitssystem (Notfall- und Evakuierungsplan) vorzusehen.

#### Abb. 6.

Ketteninklinometer im Mittellauf. Dieser Bereich unmittelbar oberhalb einer bis ca. 12 m tiefen Querdrainage (wichtiges hydraulisches Dämpfungselement) stellt das Herzstück des künftigen Monitoring- und Frühwarnsystems dar.



Für die bislang errichteten Schutzbauten liegt ein Wartungshandbuch auf, das die erforderlichen Instandhaltungsmaßnahmen insbesondere der Rohr- und Gerinneableitungen fachgerecht sicherstellen soll. Grundsätzlich besteht die Möglichkeit, Instandhaltungen an den Schutzbauten über den Betreuungsdienst zu veranlassen und abzuwickeln.

# Ziel: Nachhaltig funktionierendes Schutzsystem dauerhaft etablieren

Zur Minimierung des vorhandenen Schadenspotenziales und zur Herstellung eines sicherheitstechnisch vertretbaren und verantwortungsvollen Umganges mit der Restrisikofrage ist die Implementierung rechtlich verbindlicher und nachhaltiger Organisationsstrukturen erforderlich und vorgesehen (Wartungshandbuch, Gründung z.B. einer Wasser-Genossenschaft zur Sicherstellung des laufenden Betriebes des erforderlichen Monitoring- und Frühwarnsystems, Auflagen in den Baubescheiden zur Wiederbenützung der evakuierten Geländeabschnitte im Gschliefgraben der zuständigen Baubehörde). Ohne Herstellung dieser Strukturen, welche in der Wiederbesiedlung der evakuierten Gschliefgraben-Areale dezidiert als Auflagepunkte gefordert werden, erscheint die Dauerbesiedlung nicht rechtskonform möglich. Nach nunmehr bald zehn Jahren Wiederbesiedlung sollen entsprechende Schritte in naher Zukunft folgen.

Zur Unterstützung der betroffenen Gemeinde und Grundbesitzer ist die Übergabe eines praxiserprobten und rechtsverbindlichen Sicherheitssystems geplant. Ein entsprechender Bürgerbeteiligungsprozess wurde im Zuge des aktuell laufenden LAMOND-Projektes initiiert, der entsprechendes Problembewusstsein schaffen und ein entsprechendes Maß an Eigenverantwortung zur nachhaltigen Absicherung des gegenständlichen Lebens- und Wirtschaftsraumes bei den betroffenen Grundeigentümern mobilisieren soll.

#### Literatur

- JEDLITSCHKA, M. (1990): Analyse von Massenbewegungen in Verwitterungsdecken auf Flysch und Buntmergel und deren Stabilitätsverbesserung am Beispiel des Gschliefgrabens bei Gmunden. – Dissertation, Universität für Bodenkultur, VII + 158 S., Wien.
- MARSCHALLINGER, R. (2008): Analyse der Massenbewegung des Gschliefgrabens mittels geostatistischer Methoden – Eigenverlag im Auftrag der WLV.

### Geophysikalische Untersuchungen am Gschliefgraben

DAVID OTTOWITZ (1), EDMUND WINKLER (1), IVO BAROŇ (2), ANDREAS AHL (1), STEFAN PFEILER (1), PETER SLAPANSKY (1), BIRGIT JOCHUM (1), ALEXANDER RÖMER (1) & ROBERT SUPPER (1)

#### Einführung und Geologie

Im Gschliefgraben liegt ein tektonisches Fenster des Ultrahelvetikums (UHV) zwischen der Rhenodanubischen penninischen Flyschzone (RFZ) im Norden und den oberostalpinen Nördlichen Kalkalpen (NKA) im Süden vor (Abb. 1). Die Flysch-Hauptdecke umfasst Quarzsandsteine, glimmerreiche Sandsteine, Siltsteine, Tonsteine und -mergel sowie Kalksandsteine und -mergel. In den NKA finden sich überwiegend Karbonate, untergeordnet Haselgebirge, Kieselschiefer und Mergel. Das UHV setzt sich hauptsächlich aus stark deformierten bunten Mergeln und Kalkmergeln der Buntmergelserie (BMS) zusammen. Der oberste Abschnitt des Gschliefgrabens wird durch Moränen und eine guartäre Hangschuttbrekzie, die sich in Riesenblöcke auflöst, überlagert. Durch unterschiedliche Verfügbarkeit des Materials im Laufe der Zeit und durch unterschiedliche Transport- und Ablagerungsbedingungen entstand ein intern inhomogen aufgebauter Schuttkegel mit im Bereich des Schwemmkegels nebeneinanderliegenden Paketen von weniger bzw. stärker durchlässigem Material und einer Wechsellage-



rung von bindigen und weniger bindigen Materialien (G. MOSER, nach GASPERL, 2010: 49). Im Rahmen eines dreijährigen Forschungsprojektes (2004–2007) der Österreichischen Akademie der Wissenschaften (ÖAW) wurden umfassende geologisch-geophysikalische Untersuchungen der Gschliefgrabensedimente (MILLAHN et al., 2008) durchgeführt. Der Schwerpunkt der geophysikalischen Messungen lag bei seismischen und geoelektrischen Verfahren (NIESNER & WEIDINGER, 2008; WEIDINGER et al., 2007).

Ergiebige Niederschläge aktivierten im April 2006 eine rasch ablaufende Umlagerung von Gestein und Erdstrommaterial in den Akkumulationsbereich des Gschliefgrabens und Ende November 2007 setzten sich die akkumulierten Erdmassen (3,8 Mio. m<sup>3</sup> Erdstrommaterial) in Bewegung. In dem folgenden Katastropheneinsatz leitete die Wildbach- und Lawinenverbauung (WLV) mit einem Expertenstab die umfangreichen Sanierungsmaßnahmen. Nach dem Abschluss der Sanierungsarbeiten wurde von der Geologischen Bundesanstalt (GBA) im September 2009 zur Erkundung und Überwachung der Massenbewegung ein detailliertes Untersuchungsprogramm (Abb. 2) begonnen. Mit den Multiparameter-Daten aerogeophysikalischer Befliegungen 2009 (Abb. 3) und 2016 wurde ein großräumiger Überblick der geologischen Situation ermittelt. Die in mehreren Einsätzen in den Jahren 2008 bis 2010 gemessenen 13 Geoelektrik Profile dienten zur Verifizierung der aeroelektromagnetischen (AEM) Daten, der Bestimmung der Struktur des Rutschkörpers bzw. dessen Ausdehnung, als auch zusammen mit den von der Zentralanstalt für Meteorologie und Geodynamik (ZAMG) durchgeführten vier Georadar-Profilen zur Lokalisierung der geeigneten Positionen für zwei geoelektrische Monitoring-Profile und ein automatischer Inklinometer (Abb. 2).

Abb. 1. Gschliefgraben-Rutschgebiet von Westen mit einem schematischen N–S-Profil des tektonischen Baues.

(1) Geologische Bundesanstalt, Neulinggasse 38, 1030 Wien. *david.ottowitz@geologie.ac.at* (2) Naturhistorisches Museum Wien, Burgring 7, 1010 Wien.



Abb. 2. Lage von Inklinometer, Geoelektrik, Georadar und Monitoring-Profilen und drei AEM-Profilschnitten.

#### Aerogeophysik und Geoelektrik

Die für aerogeophysikalische Messungen relevanten physikalischen Eigenschaften von Mineralien bzw. Gesteinen sind unter anderem die elektrische Leitfähigkeit, die magnetische Suszeptibilität, Gammastrahlung radioaktiver Isotope und Bodenfeuchte. Bei den mit einem Hubschrauber des Bundesheeres durchgeführten aerogeophysikalischen Messungen werden folgende physikalischen Parameter des Untergrundes bestimmt:

- Der spezifische elektrische Widerstand bis zu Tiefen von mehreren 10er Metern mit einem Inversionsprogramm aus den Messwerten des AEM Systems mit vier Frequenzen;
- der Gehalt an den natürlichen Radionukliden Kalium, Uran, Thorium und dem anthropogenen Cäsium-137 wird aus der mit einem Gammastrahlenspektrometer gemessenen Gammastrahlung der oberflächennahen Gesteine und Böden ermittelt;
- die Totalintensität des erdmagnetischen Feldes durch ein Absorptionszellen-Magnetometer vom Typ Scintrex CS-2. Dargestellt wird die Anomalie der magnetischen Totalintensität;
- die Bodenfeuchte der obersten Zentimeter des Erdbodens in Prozent-Wassergehalt. Um den Wassergehalt berechnen zu können, wird mit einer passiven L-Band-Antenne die

vom Untergrund bei 1,4 GHz reflektierte Strahlung gemessen und zusätzlich

• die Oberflächentemperatur des Erdbodens mit einem Infrarotsensor bestimmt.

Die geoelektrischen Messungen wurden mit dem von der GBA entwickelten Messgerät Geomon4D durchgeführt (siehe Abstract "Entwicklung des geoelektrischen Messsystems der GBA", RÖMER et al., 2017). Die Elektrodenabstände variieren bei den einzelnen Profilen je nach erforderlicher maximaler Eindringtiefe und reichen von 2,5 bis 10 m, womit die Verteilung des spezifischen elektrischen Widerstandes bis zu einer Tiefe von etwa 150 m abgebildet werden kann.

Aus Geoelektrik und AEM-Messungen werden Verteilungen des spezifischen elektrischen Widerstandes im Untergrund berechnet. Da der spezi-

Abb. 3. Fluglinien der Aerogeophysik 2009 (Amap Fly 5.0).


fische elektrische Widerstand von Gesteinen am stärksten vom Wassergehalt (neben Porosität, Tongehalt etc.) beeinflusst wird, Durchfeuchtung wiederum einen großen Einfluss auf die Hangstabilität hat und damit ein Hauptfaktor bei der Entstehung von Rutschungen ist, eignen sich die Methoden der Geoelektrik und Elektromagnetik besonders, um die Struktur von Rutschkörpern und deren Umgebung zu untersuchen. Mitunter können sie durch die gewonnenen Informationen über hydrologische Verhältnisse des Untergrundes auch ein besseres Verständnis für Auslösefaktoren der Massenbewegung liefern.

Im Gschliefgraben lassen sich die Tongesteine der BMS und deren Verwitterungsprodukte in den Widerstandsprofilen dem Widerstandsbereich 2–30  $\Omega$ m zuordnen. Im Norden und Osten werden die niederohmigen Bereiche der BMS von Bereichen mit mittlerem (50–100  $\Omega$ m) und hohem (>150 Ωm) Widerstand, die verschiedenen lithologischen Einheiten (Tonstein und Mergel bzw. zwischengelagerte Sandsteinschichten) der RFZ zuzuordnen sind, begrenzt (Abb. 4: Profil G1; Abb. 5: Profile A1, A2). Die hochohmigen Bereiche im Süden stellen kalkalpines Material dar. Am Ostende des UHV, am Hochkampriedel (Abb. 4: Profil G2), liegt über dem niederohmigen Widerstandsbereich der BMS eine hochohmige (> 300  $\Omega$ m) bis zu 40 m mächtige Schicht Hangschuttbrekzie, die auch im AEM Profil A3 bei Profilmeter 2.700 (Abb. 5) zu erkennen ist. Der Vergleich von Geoelektrik-Profil G2 und dem AEM-Profilschnitt A3 zeigt eine sehr gute Übereinstimmung in den Widerstandsverteilungen, wenngleich die Geoelektrik, hier bei einem Elektrodenabstand von 10 m, eine bessere Auflösungsgenauigkeit hat. Die AEM

liefert zwar eine geringere Auflösung, hat aber den Vorteil, dass mit relativ wenig Aufwand großflächig Daten aufgezeichnet werden und, sofern diese vorliegen, im besagten Bereich beliebige Tiefenschnitte generiert werden können, die wichtige Informationen für das Verständnis regionaler geologischer Strukturen zur Verfügung stellen. Der AEM-Profilschnitt A2 in Abbildung 5 beginnt im Norden am Hochgschirr, quert den obersten Teil der Gschliefgrabenrutschung und endet am Nordhang des Traunsteins im Kalkalpin. Im Norden gibt der Widerstandstiefenschnitt Anlass zur Vermutung, dass die BMS-Einheit unter die RFZ am Gaisbühel abtaucht. Auch MILLAHN et al. (2008) folgern aus einem in der Nähe von Profil A2 liegendem Geoelektrik-Profil, dass der Gaisbühel durch eine mehrere Zehnermeter mächtige, niederohmige, instabile Schicht unterlagert wird. Im Weiteren geben die Widerstandsverhältnisse am südlichen Ende der Profile A1 und A2 einen Hinweis auf ein Abtauchen der BMS auch unter das Kalkalpin. Auch in weiteren hier nicht gezeigten AEM-Profilschnitten lässt sich dieses Abtauchen der BMS unter die sie im Norden und Süden begrenzenden Einheiten der RFZ und der NKA vermuten.

Ein interessanter Detailaspekt ist, dass sich Profil G1 und das Monitoring-Profil überkreuzen und ein Vergleich dieses Bereiches unter Berücksichtigung der unterschiedlichen Eindringtiefe bzw. Auflösung eine gute Übereinstimmung bringt. Im Geoelektrik-Profil G1 (10 m Elektrodenabstand)

Abb. 4.

Inversionsergebnisse und geologische Interpretation der Geoelektrik-Profile G1 und G2.





ist von Profilmeter 250 bis 430 ansatzweise eine höherohmigere Schicht, die als sandiger Mergel interpretiert wird, zu erkennen (Abb. 4). Diese zeigt sich auch im Monitoring-Profil (3 m Elektrodenabstand), wobei die obere Grenzfläche dieser Schicht anhand der Inklinometer-Ergebnisse als aktiver Rutschhorizont auszuweisen ist (Abb. 6). Dieses Ergebnis zeigt exemplarisch, inwiefern die mittels Geoelektrik oder auch AEM erhalteAbb. 5.

Inversionsergebnisse AEM 2009 und geologische Interpretation – Profilschnitte (Lage siehe Abbildung 2).

Abb. 6. Monitoring-Querprofil: Korrelation der Widerstandsstruktur mit der tiefenabhängigen Horizontalverschiebung des Inklinometers.



ne Widerstandsstruktur des Untergrundes mit geotechnischen Daten korreliert und für entsprechende weiterführende Interpretationen genutzt werden kann. Eine detaillierte Betrachtung der Monitoring-Ergebnisse erfolgt im Beitrag "Geophysikalisches und Geotechnisches Monitoring am Gschliefgraben" von JOCHUM et al. (2017). An dieser Stelle soll nur die Übereinstimmung der beiden sich kreuzenden Profile hervorgehoben werden, um die geologische Interpretation von Profil G1 zu untermauern.

Die Verteilungen von Kalium und Thorium der aeroradiometrischen Messdaten im Gschliefgrabengebiet zeigen ähnliche Grundstrukturmuster und sind hauptsächlich von der Lithologie des Herkunftmaterials bestimmt (Abb. 7). Im Allgemeinen finden sich hohe Konzentrationen an Kalium und Thorium in Ton, Mergel und Tonstein der UHV und RFZ, wobei der absolute Wert vom Verwitterungsgrad der Gesteine abhängt. Stark verwitterte Tone oder Mergel zeigen höhere Werte als Bereiche mit Mergel und Tonstein. Die höchsten

Abb. 7. Kalium- und Thorium-Konzentrationen 2009, 3D-Ansicht von West.

Werte treten in den kolluvialen Ablagerungen alter oder nicht aktiver Hangrutschungen in der RFZ und in den aktiven oder alten Hangrutschungsbereichen des UHV auf. Niedrige Werte finden sich in Bereichen mit kalkalpinem Material und an einigen Stellen mit anstehendem Sandstein der RFZ, der quartären Hangschuttbrekzie im Osten und dem Schuttkegel des Gschliefgraben-Erdstroms. In den Thorium- und Kalium-Verteilungen lassen sich Areale rezenter Rutschungsvorgänge durch ihre unterschiedliche Charakteristik unterscheiden. Niedrige Werte in der "Reisseten Schütt" am Ostende des Gschliefgrabens weisen darauf hin, dass hier die Tone der UHV von mobilisiertem Material der Hangschuttbrekzie des Hochkampriedels oder von kalkalpinem Hangschutt des Traunsteins überlagert werden. Westlich davon zeigen hohe Werte, dass in diesem Bereich das Oberflächenmaterial von stark verwittertem Ton und Mergel des UHV dominiert wird. Im mittleren Teil des jüngsten Rutschungbereiches kann die wechselnde Abfolge von Bereichen mit hohen und niedrigen Werten (hauptsächlich im Thorium) durch abwechselndes Einströmen von UHV (hohe Werte) und NKA-Material (niedrige Werte) erklärt werden. Ein scharfer Kontrast von niedri-



gen zu hohen Werten grenzt am westlichen Ende des Gschliefgrabens den Bereich der jüngsten Rutschung von historischen Rutschungsbereichen im Norden ab.

Das beim Reaktorunfall von Tschernobyl (Ukraine) im Jahr 1986 freigesetzte radioaktive Isotop Cäsium-137, mit einer Halbwertszeit von 30 Jahren, ist in österreichischen Böden noch immer weit verbreitet. In tonreichen, ungestörten Böden binden sich die Cäsium-Ionen fest an illitische Tonminerale und sind aufgrund der Fixierung in den Kristallgittern der Tonminerale vor Auswaschung in tiefere Bodenschichten geschützt. Durch den offenen, gelockerten Boden in aktiven Rutschungsbereichen und das Fehlen einer Pflanzendecke wird die oberflächennahe Feinfraktion bei Niederschlagsereignissen bevorzugt ausgewaschen. Dies vermindert in der oberflächennahen Schicht den Gehalt an Tonmineralen im Vergleich zu den Karbonaten und Quarz in der stabilen Grobfraktion, und reduziert damit den Cäsiumgehalt. Die Verteilung der Flächenaktivität von Cäsium-137 korreliert sehr gut mit Flächen, bei denen aufgrund von Rutschungsvorgängen oder Sanierungsmaßnahmen die oberste Bodenschicht entfernt bzw. gestört wurde (Abb. 8). Die Ausdehnung rezenter Rutschungsereignisse lässt sich mit dieser Methode einfach abgrenzen.

Beim Vergleich der magnetischen Totalintensität des Erdmagnetfeldes und der Caesium-Flächenkonzentration in den Befliegungen 2009 und 2016 zeigte sich sowohl eine signifikante Abnahme der Anomalie der magnetischen Totalintensität bis zu 10 nT, als auch eine über den natürlichen Zerfall hinausgehende Abnahme des Caesiumgehalts im Bereich der Großrutschung 2007–2008 gegenüber den Randbereichen des Gschliefgraben-Rutschgebietes. Im Gschliefgrabengebiet haben nur Gesteine mit einem hohen Anteil an Tonmineralen eine nennenswerte magnetische Suzeptibilität und an Tonminerale in den Böden des Rutschgebiets wird Caesium fix gebunden. Eine mögliche Interpretation dieser Ergebnisse ist eine signifikante Reduzierung des Tonmineralgehaltes in der Rutschmasse im Zeitraum von sieben Jahren.

In der flächenhaften Darstellung der Bodenfeuchte (Abb. 8) treten die höchsten Werte im Bereich der jüngsten Erdströme, in Zonen mit noch

> Abb. 8. Caesium-Flächenaktivität und Bodenfeuchte 2009, 3D-Ansicht von West.



signifikanten Rutschungsbewegungen entlang des Fußes der NKA, auf. Dies könnte ein Hinweis auf das Einströmen von Karstwasser der NKA sein. Da aktive Rutschungen häufig mit hohem Wassergehalt in den obersten Erdschichten zusammenhängen und ein erhöhter Anteil an Bodenfeuchte ein Auslöser für eine Massenbewegung sein kann, ist eine Kartierung der Bodenfeuchte ein vielversprechender Indikator für aktive und potenzielle Massenbewegungen.

#### Fazit

Die hier exemplarisch dargestellten Ergebnisse der geophysikalischen Untersuchungen am Gschliefgraben zeigen, inwiefern die angewendeten Methoden die geologisch lithologischen Unterschiede des Gebietes anhand von unterschiedlichen Parametern (spezifischer elektrischer Widerstand, Konzentration radioaktiver Isotope, Bodenfeuchte) abbilden. Dies kann einerseits dazu verwendet werden, geologische Karten zu verfeinern und andererseits können für die Hangrutschung und deren Entwicklung interessante Bereiche identifiziert werden, die dann gezielt mit höherauflösenden geophysikalischen oder geotechnischen Methoden genauer untersucht werden können.

#### Literatur

- GASPERL, W. (2010): Katastrophenbewältigung und Maßnahmen im Gschliefgraben Gmunden/Oberösterreich. – In: WEIDINGER J.T. & G. KÖCK (Hrsg.): ÖAW-Gschliefgraben-Symposium, Proceedings vom 1. April 2009. Verlag der ÖsterreichischenAkademie der Wissenschaften, 45–58, Wien.
- JOCHUM, B., OTTOWITZ, D., GRUBER, S., SUPPER, R. & ITA, A. (2017): Geophysikalisches und Geotechnisches Monitoring am Gschliefgraben. – Tagungsband zur Arbeitstagung der Geologischen Bundesanstalt 2017, 202–203,Wien.
- MILLAHN, K., GRASSL, H., HYDEN, W., KERSCHNER, F., MORAWETZ, R., NIESNER, E., SCHMID, C., WEBER, F. & WEIDINGER, J.T. (2008):
  Geophysical research in the Gschliefgraben near Gmunden/ Upper Austria featuring its mass-movement-system (in German language). – Jahrbuch der Geologischen Bundesanstalt, 148/1, 117–132, Wien.
- NIESNER, E. & WEIDINGER, J.T. (2008): Investigation of a historic and recent landslide area in Ultrahelvetic sediments at the northern boundary of the Alps (Austria) by ERT measurements. – The Leading Edge, **27**/11 (Special Section: Near-surface), 1498–1509, Tulsa.
- RÖMER, A., SUPPER, R., KREUZER, G., JOCHUM, B., OTTOWITZ, D. & PFEILER, S. (2017): Entwicklung des geoelektrischen Messsystems der GBA. – Tagungsband zur Arbeitstagung der Geologischen Bundesanstalt 2017, 213–214, Wien.
- WEIDINGER, J.T., NIESNER, E. & MILLAHN, K. (2007): Interpretation angewandt geologisch-physikalischer Untersuchungen in der Gschliefgraben-Rutschung am Traunsee-Ostufer (Gmunden/Oberösterreich). – Arbeitstagung 2007 der Geologischen Bundesanstalt, Grünau im Almtal, Ried im Innkreis, 57–72, Wien.

## Sozialwissenschaftliche Aspekte beim Aufbau eines Frühwarnsystems am Gschliefgraben

PHILIPP PREUNER (1), MONIKA RIEGLER (1) & ANNA SCOLOBIG (2)

#### Einleitung

Im Sinne eines integrativen Ansatzes werden bei der Entwicklung eines Frühwarnsystems zusätzlich zu den geologischen und technischen Dimensionen auch institutionelle und soziokulturelle Aspekte miteinbezogen. Durch den Austausch zwischen Wissenschaftlern, politischen Entscheidungsträgern und Betroffenen wird sichergestellt, dass die Gestaltung eines Frühwarnsystems von allen mitgetragen und somit sozial nachhaltig wird. Ein Beteiligungsprozess resultiert in besserer Akzeptanz und einer langfristigen Funktionsweise des Frühwarnsystems, wie es für selten auftretende Rutschungen besonders relevant ist. Diese partizipative Herangehensweise betrifft die Monitoring-Technologie selbst sowie deren Verknüpfung mit einem Notfallplan. Für die Endnutzer-Orientierung im Rahmen des LAMOND (Landslide Monitoring and Dynamic Processes) Projektes der Geologischen Bundesanstalt (GBA) wurden folgende Ziele definiert: Die Identifikation der Diskurse der Beteiligten in Bezug auf ein Frühwarnsystem, der Vorschlag mehrerer Optionen auf Basis der Diskurse, die Entwicklung eines Beteiligungsprozesses für Hangrutsch-Frühwarnsysteme sowie eine endnutzerorientierte Lösung für ein Frühwarnsystem. Für die Umsetzung dieser sozialwissenschaftlichen Komponente des LAMOND Projektes wurde das Fallbeispiel Gschliefgraben in Gmunden ausgewählt und das International Institute of Applied Systems Analysis (IIASA) aufgrund deren Erfahrungen in Nocera Inferiore, Italien, hinzugezogen.

Der Gschliefgraben weist eine jahrhundertelange Geschichte von Hangrutschungen auf, die im letzten verheerenden Ereignis in den Jahren 2007/2008 gipfelte. Diese Bewegungen hatten monatelange Evakuierungen, Schäden an Gebäuden und Grundstücken und Sanierungsmaßnahmen in Millionenhöhe zur Folge. Um solche Bewegungen in Zukunft frühzeitig zu erkennen und rechtzeitig geeignete Maßnahmen zu treffen, ist ein Monitoring- und Frühwarnsystem Bedingung einer Wiederbesiedlung der Gefahrenzone. Stark divergierende Zugänge zur Frage, in welcher Weise diese Bedingung erfüllt werden könnte, machten den Gschliefgraben zu einem typischen Anwendungsfall der Cultural Theory. Diese ermöglicht es, soziokulturelle Dynamiken in der Entscheidungsfindung zu berücksichtigen und stellt die theoretische Basis dieses Papers dar.

Im Rahmen des LAMOND Projektes wurde 2015 ein Beteiligungsprozess zum Gschliefgraben eingeleitet, der mit einer Serie an Interviews und der Analyse von verfügbaren Dokumenten begann. Es konnten daraufhin die wichtigsten Ansichten zu einem Frühwarnsystem gesammelt und mithilfe sozialwissenschaftlicher Methoden zentrale Diskurse definiert werden. In Kombination mit den Erkenntnissen der Geologischen Bundesanstalt wurden diese Diskurse zu drei Optionen entwickelt. Das Spektrum an vorherrschenden Meinungen reflektierend, dienten diese Optionen einem ersten Workshop als Diskussionsgrundlage.

Es war der erste einer Reihe von Workshops im Laufe des ersten Halbjahres 2017, bei denen Gelegenheit für Interessierte geboten wird, ihre Meinung sowie Bedürfnisse hinsichtlich eines zukünftigen Frühwarnsystems einzubringen und gemeinsam mit anderen Beteiligten und Wissenschaftlern zu diskutieren. Das Hauptziel war es, Empfehlungen und Leitlinien für ein zukünftiges Frühwarnsystem, Notfallplanung und Prävention zu sammeln um dann ein sozial und wirtschaftlich angepasstes Frühwarnsystem zu entwickeln. Dabei sollen neue Erkenntnisse über partizipative Planung von Hangrutsch-Frühwarnsystemen gewonnen werden.

#### **Theoretischer Hintergrund**

Frühwarnsysteme werden als Kombination von Maßnahmen definiert, die darauf abzielen, Betroffene, Gemeinschaften und Organisationen

<sup>(1)</sup> International Institute for Applied Systems Analysis (IIASA), Risk, Policy and Vulnerability Program, Schlossplatz 1, 2361 Laxenburg. preuner@iiasa.ac.at

<sup>(2)</sup> Swiss Federal Institute of Technology (ETH), Department of Environmental Systems Science,

Universitätsstraße 16, 8092 Zürich, Schweiz.

rechtzeitig und effektiv über eine Gefahr zu informieren, um adäquat darauf zu reagieren (UNISDR, 2007). Dies soll das Hangrutschungsrisiko so minimieren, um ökonomische und ökologische Auswirkungen von Sanierungsmaßnahmen zu verringern (INTRIERI et al., 2013).

Frühwarnsysteme waren bisher auf Technologie fokussiert und sollten in Zukunft auch den institutionellen Kontext, die Kommunikation von Unsicherheit, die Verantwortungsteilung zwischen Wissenschaft und Entscheidungsträgern sowie den Informationsbedarf der Betroffenen berücksichtigen. Zuletzt war dieser Anspruch innerhalb der Sozialwissenschaften eher auf Gestaltung und Verbreitung der Warnung fokussiert (PARKER et al., 2009), immer öfter wird jedoch auch gefordert, die ökonomischen, sozialen und rechtlichen Komponenten zu integrieren, um Frühwarnsysteme nachhaltig effektiv zu gestalten (BASHER, 2006; BELL et al., 2010; PARKER et al., 2009). Das heißt, zum Beispiel, dass die Installation der bestmöglichen Monitoring-Technologie mit deren Akzeptanz unter Betroffenen und dem existierenden Bewusstsein über die Gefahr einhergeht. Weiters kann dies heißen, dass Ungleichheiten und existierende Machtstrukturen durch deren Mitdenken nicht reproduziert werden.

Das hierfür zentrale Politikpapier auf internationaler Ebene ist der 'Sendai Framework for Disaster Risk Reduction 2015'. In Bezug auf Frühwarnsysteme soll demnach Endnutzer-Orientierung ('People-Centered') Beachtung finden, die grundsätzlich die Einbeziehung folgender Bereiche umfasst: die Erforschung des Risikos, Monitoring und Vorhersagen der Gefahr, die Kommunikation von Warnungen sowie die lokalen Kapazitäten für eine adäquate Reaktion (UNISDR, 2007).

Ein solch pluralistischer Zugang zu Frühwarnsystemen mit einer erweiterten Reihe an zu berücksichtigenden Aspekten kann dazu führen, dass der Planungsprozess komplex und umstritten wird. In der Cultural Theory bezeichnet man dies als "contested terrain", definiert durch divergierende und sich ausschließende Ansichten zu Problem und Lösung, sowie keiner Möglichkeit eines Konsenses oder einer sogenannten eleganten Lösung (SCOLOBIG et al., 2016). Soziale und kulturelle Gegebenheiten verlangen nach einer Lösung, die als Kompromiss verstanden wird. Im Gegensatz zum Konsens fordert diese ein Einlenken aller und ist nicht einseitig im Sinne eines hegemonischen Durchsetzens einer – etwa ausschließlich von Fachleuten vorgeschlagenen – Lösung. Würden bei den unterschiedlichen Akteuren und komplexen Problemstellungen eines Frühwarnsystems die kulturellen Motive und sozialen Realitäten beim Design nicht berücksichtigt, so könnten diese die Funktionsweise beeinträchtigen. Unter den diversen Anschauungen der Beteiligten wird grundsätzlich unter den Typen hierarchisch, individualistisch, egalitär und fatalistisch unterschieden (LINNEROOTH-BAYER et al., 2016). Diese Typen treten in dynamischer Weise und als Mischformen auf, sie sind Grundlage zur Formulierung von sogenannten Diskursen. Diese Diskurse dienen der Kategorisierung und Eingrenzung von Ansichten und Meinungen zu einem potenziellen Frühwarnsystem. Diskurse sind ein Set von Ideen und Konzepten, die durch bestimmte Praktiken produziert, reproduziert und transformiert werden und dadurch der physischen und sozialen Realität Bedeutung geben (HAJER, 1995). Die Formulierung solcher Diskurse bewirkt eine Eingrenzung der Anzahl an Zugängen und bildet die Grundlage der Entwicklung von verschiedenen Varianten, wie ein Frühwarnsystem gestaltet werden könnte.

#### Forschungsmethoden

Die sozialwissenschaftliche Betrachtung auf Basis der Cultural Theory bedient sich einer systemischen Herangehensweise, die ein Frühwarnsystem als Gesamtheit unterschiedlicher Subsysteme sieht. Qualitative Methoden ermöglichen dabei das Erfassen des soziokulturellen Gefüges sowie eine umfassende Recherche des rechtlichen, politischen und ökonomischen Kontexts des Frühwarnsystems. Mit diesem Ansatz wurden folgende Methoden in Gmunden angewandt.

Der Beteiligungsprozess begann mit der Identifizierung der wichtigsten Beteiligten und ersten Kontakten mit der Gemeinde und den involvierten Fachleuten. Neben einer Analyse der verfügbaren Literatur, Medienberichte und Dokumente wurden leitfadengestützte Interviews mit insgesamt 21 Personen geführt und transkribiert. Unter den wichtigsten Stakeholdern sind Vertreter der Gemeinde, der Wildbach- und Lawinenverbauung, lokale Ziviltechniker, der Einsatzkräfte und Anwohner. In den Interviews waren Fragen zu Frühwarnsystem und Notfallplan, Verantwortungsverteilung, Kommunikation, Bereitschaft zur Beteiligung, Finanzierung und lokale Kapazitäten zentral. Es wurden zusätzliche Interviewpartner identifiziert, die zur Klärung weiterer Detailfragen historischer sowie aktueller Natur herangezogen werden. Mittels Diskursanalyse wurden aus den Interviews drei sogenannte 'Geschichten' (Storylines) konstruiert, jeweils ein individualistischer, hierarchischer und egalitärer Diskurs. In weiterer Folge wurden in Zusammenarbeit mit dem Expertenteam der GBA und dem sozialwissenschaftlichen Team des IIASA auf Basis dieser Geschichten bzw. Diskurse drei Umsetzungsvarianten entwickelt, die sich anhand von sieben Kriterien aus der Literatur unterscheiden (siehe unten). Die darauffolgende dreiteilige Workshop-Runde stellte den Kern des Beteiligungsprozesses dar (LÖSCHNER et al., 2016; SCOLOBIG et al., 2016). Dabei wurde das Ziel verfolgt, in mehreren Schritten und durch das IIASA moderierter Scientist-Stakeholder-Dialoge eine diskursive Plattform ('Runder Tisch') zu schaffen, um zu einer gemeinsamen Kompromisslösung für ein Frühwarnsystem zu kommen. Für die konsequente Einbeziehung aller Betroffenen, die bei Workshops verhindert waren, wurden diese zusätzlich nach jedem Workshop mit einer schriftlichen Zusammenfassung informiert und um Ihre Ideen und Anregungen gebeten.

#### Institutioneller Rahmen und Herausforderungen

Die Gschliefgraben-Thematik involviert Institutionen und Akteure auf unterschiedlichen Ebenen (Abb. 1); durch den Fokus auf Endnutzer-Orientierung wurden vor allem Beteiligte auf lokaler Ebene eingebunden. Dazu zählen mehrere Stellen in der Stadtgemeinde, die Freiwillige Feuerwehr und die Polizei Gmunden, die Gebietsbauleitung West der Sektion Oberösterreich der Wildbach- und Lawinenverbauung (WLV) sowie Bundesforste, Ziviltechniker und Anwohner. Auf Basis des Forstgesetzes 1975 schützt die WLV durch Gefahrenpläne und unterschiedliche Präventionsmaßnahmen vor Hangrutsch. Rechtliche Grundlage für das Risiko am Gschliefgraben ist weiters das Oberösterreichische Katastrophenschutzgesetz (Oö. KATSCHG), in dem Verantwortlichkeiten für den Ernstfall geregelt werden, wie zum Beispiel die Rolle der Feuerwehr bei der Bewältigung von Katastrophen. Es enthält allerdings keine spezifischen Regelungen für Hangrutschungsgefahren, ebenso wie das Oberösterreichische Raumordnungsgesetz (Oö. ROG).

Verantwortlich ist in erster Linie die Stadtgemeinde, die im unmittelbaren Fall eine koordinierende Rolle einnimmt und für die langfristige Planung einzelne Kompetenzen auslagert. Zum Beispiel wurde die Konzeptualisierung eines Frühwarnsystems an die WLV und das Ziviltechnikerbüro Moser-Jaritz vergeben, die 2012 vorgelegt wurde. Die darin enthaltenen Vorschläge waren rechtlich und technisch umstritten. Aus Sicht der Gemeinde waren die Kosten für dieses System nicht gerechtfertigt und das Konzept wurde nicht realisiert. Eine weitere Frage war die des wissenschaftlichen Wertes der eingesetzten Monitoring-Anlagen, der je nach Perspektive der Gemeinde und WLV unterschiedlich wichtig beurteilt wurde: "Niemand konnte uns fundiert sagen, was notwendig ist und was von wissenschaftlicher Be*deutung ist.*" (Interview, A4, Gruppe Verwaltung).

Weitere im Zuge der Diskursanalyse identifizierte Herausforderungen hängen mit Kommunikation und Risikowahrnehmung zusammen. Dazu zäh-



Abb. 1. Übersicht der an einem Frühwarnsystem am Gschliefgraben beteiligten Institutionen. len zum Beispiel tradiertes Misstrauen, basierend auf Konflikten während der Rutschkatastrophe vor zehn Jahren, oder die Verweigerung von Dienstbarkeiten zur Wartung bestehender Monitoring-Anlagen seitens einzelner Anwohner. Wiederum wurden diese Ansichten in den individualistischen bzw. hierarchischen Diskurs eingeordnet. Das teils geringe Risikobewusstsein bzw. mangelnde Wertschätzung der teuren Sanierungsmaßnahmen trugen zur Kontroverse um eine mögliche Kostenbeteiligung der Anwohner bei: "Aber gerade am Gschliefgraben, wo so viel Steuergeld reingeflossen ist, wäre das schon gerechtfertigt, dass die Betroffenen, die da einen Nutzen daraus haben, sich auch etwas engagieren." (Interview, A10, Gruppe Experten). Unter den Betroffenen wurde diese zum einen streng abgelehnt, zum anderen aber durchaus positiv gesehen, auch um die Problematik einer Umverteilung von Gemeindebudget zu kompensieren und zu rechtfertigen. Schließlich gab es auch viele Menschen in Gmunden, die dem Erhalt weniger Liegenschaften aus öffentlichen Geldern kritisch gegenüber stehen. Das lag wiederum auch an der (medialen) Kommunikation der Mittelverwendung ohne Berücksichtigung der infrastrukturellen und touristischen Bedeutung des Gschliefgrabens: "Dann hat man nur die 5 oder 6 Häuser gezeigt, die direkt in der Bewegung waren und hat dann immer medial die Frage gestellt, ob sich das rentiert, für diese paar Häuser so viele Millionen zu investieren." (Interview, A2, Gruppe Experten). Die umfassende Sanierung wurde allerdings auch mit der Straßenanbindung für Touristen sowie einer weiteren Ortschaft gerechtfertigt. Nicht zuletzt aufgrund der Erfahrung mit falscher öffentlicher Darstellung wird das Thema Bewusstseinsbildung von einigen mit geringem Risikobewusstsein und Interesse an Erhalt des Grundstückswertes als schädlich empfunden. Bewusstseinsbildung ist für Beteiligte, die aus einer egalitären Sichtweise argumentieren, integraler Bestandteil eines zukünftigen Frühwarnsystems.

Die Ansichten divergierten vorrangig beim Risikobewusstsein sowie bei institutionellen und rechtlichen Fragen unter den Beteiligten bzw. den Endnutzern des Risikomanagements am Gschliefgraben. Wer genau die Endnutzer sind, hängt vom Design des Frühwarnsystems ab und sind nicht per se nur die Anwohner. Je nach Verantwortungsverteilung bei Wartung und Betrieb des Frühwarnsystems kann dies auch die Stadtgemeinde oder Ziviltechniker sein (hierarchische Storyline). Somit ist der institutionelle Rahmen sowohl Analysegegenstand, als auch Teil der Ausgestaltung eines Frühwarnsystems.

#### Beteiligungsprozess und Kompromisslösung

Um mit den oben skizzierten politischen, ökonomischen und sozialen Spannungsfeldern zum Thema Frühwarnsystem am Gschliefgraben umzugehen, wurde 2015 ein Beteiligungsprozess eingeleitet. Dazu wurden die Diskurse in drei technische Optionen umgesetzt, die sich durch die Kriterien Risiko, Verantwortung, Kosten, Technologie, Notfallplanung, Anwohnerbeteiligung und Bewusstseinsbildung unterscheiden: Das 'minimale Frühwarnsystem' (1) ist reduziert auf eine Wetterstation sowie regelmäßige Begehungen, wodurch minimale Kosten entstehen würden, es jedoch keinen Notfallplan geben würde. Die 'Frühwarnung als technisches Expertensystem' (2) hingegen würde zwei Inklinometer, eine Wetterstation und Abflussmessung sowie Piezometer und Laserscan-Befliegungen kombinieren, womit eine dreistufige Warnung mit zwischengeschalteter Kontrolle seitens Experten erfolgen würde. Es gäbe einen detaillierten Notfallplan sowie eine symbolische Kostenbeteiligung der Anwohner. Beim 'Anwohner-zentrierten Frühwarnsystem' (3) würde neben dem Inklinometer und der Wetterstation vor allem die Beteiligung der Anwohner sowie ein offener, bewusstseinsbildender Umgang mit dem Risiko eine wichtige Rolle spielen. Das heißt, dass Daten einsehbar wären, regelmäßig kommuniziert würden und ein Geotrail installiert werden würde.

Beim ersten Workshop waren diese drei Optionen die Diskussionsgrundlage auf drei Runden Tischen, die den Beteiligten die Möglichkeit boten, die eigene Ansicht zu reflektieren und die vorliegende Option mit 'Gleichgesinnten' zu diskutieren. Der Zweck dieser ersten Runde war es, die eigene Position zu reflektieren. Es war kein Proponent der ersten Option anwesend, es war jedoch auffällig, dass sich die meisten Anwohner mit dem 'Technischen Expertensystem' und die Gemeinde mit dem 'Anwohner-zentrierten Frühwarnsystem' identifizierten. Die Diskussionen waren jeweils vom Fokus der Optionen geprägt, beim 'Technischen Expertensystem' ging es vorwiegend um die finanziellen und technischen Möglichkeiten, die dort vertretenen Fachleute nahmen eine erklärende Rolle ein. Es wurden zum Beispiel grundsätzliche Dimensionen einer möglichen Kostenbeteiligung geklärt, wobei sich herausstellte, dass die Kritiker von viel größeren Summen als angedacht ausgingen. Im Zuge von Diskussionen um die Grundgrenzen, die noch seit den Verschiebungen vor zehn Jahren vermessen werden müssen, waren sich die Anwesenden einig, dass Dienstbarkeiten eine Grundbedingung sein müssen, um an einem Strang zu ziehen, was ein Frühwarnsystem betrifft. Unter den Befürwortern des 'Anwohner-zentrierten Frühwarnsystems' wurden rechtliche und institutionelle Möglichkeiten der Anwohnerbeteiligung diskutiert. Der Aspekt des besseren Informationsflusses (Option 3) wurde zusätzlich von den Proponenten der hierarchischen Option 2 gefordert, wodurch sich erste Aspekte einer Kompromisslösung zeigten. Es gab also eine Diskussionsbasis zur Anwohnerbeteiligung, die Streitpunkte liegen jedoch im Detail. Das hing damit zusammen, dass Anwohner und Experten die Frühwarnung als Service für Betroffene wahrnahmen, während die Gemeinde Kapazitäten aktiv auf Anwohner übertragen mochte.

Die Fronten wurden beim ersten Workshop vor allem zwischen den Anwohnern und der Politik sichtbar. Die unterschiedlichen Positionen zwischen Fachleuten und Politik zum Umfang und Zweck der eingesetzten Monitoring-Technologie haben sich indes angenähert. Das liegt daran, dass es parallel zu deren Positionen im Rahmen des Beteiligungsprozesses seit Beginn des LAMOND Projektes Bemühungen gab, zu einer Lösung zu kommen. Es wurde die Erstellung eines Notfallplans in Auftrag gegeben und ein schon längere Zeit nicht funktionierendes Inklinometer für die Reparatur entnommen. Das bedeutet, dass vor allem in Bezug auf den Technologiemix real Maßnahmen getroffen wurden, die gleichzeitig Gegenstand der Workshop-Runde waren. Der Beteiligungsprozess konzentrierte sich somit auf die institutionellen Aspekte und diente als Plattform zum Austausch und zur Information.

Darauf aufbauend waren der zweite und dritte Workshop das Aufeinandertreffen und Ausdiskutieren der unterschiedlichen Positionen. Mittels der Anregungen im Zuge des ersten Workshops wurde beim zweiten eine Kompromisslösung vorgeschlagen, die nun mit mehr Detailtiefe weiterentwickelt wurde. Die vorgeschlagene Monitoring-Technologie (Inklinometer, Niederschlags- und Abflussmessung, Piezometer, Laserscan) fand in Bezug auf die Automatisierung breite Zustimmung: "Menschen kommen und gehen!" (Workshopmitschnitt, A18, Gruppe Anwohner). Dies wurde mit einem offenen Umgang mit Information kombiniert. Dazu zählen einerseits die Frühwarnung der Anwohner bereits nach der ersten Warnstufe, die nur von Experten beurteilt wird: "Wir würden uns eine frühere Information schon wünschen, weil es uns alle betrifft!" (Workshopmitschnitt, A17, Gruppe Anwohner). Andererseits soll durch regelmäßige Informationsveranstaltungen bei den Betroffenen sowie durch Schautafeln am Gelände in der breiten Öffentlichkeit Bewusstsein geschaffen werden.

Das heißt, dass sich der Kompromiss generell durch die Kombination der technologiefokussierten und der Anwohner-zentrierten Optionen gestaltet.



Abb. 2. Konzeptuelle Darstellung der Kompromisslösung am Ende der Workshops.

Das für den dritten Workshop offene Thema war die Frage der rechtlichen und finanziellen Regelung der Verantwortung und Aufgabenverteilung. Da diese Kontroverse einer Steigerung der Eigenverantwortung der betroffenen Grundbesitzer bzw. von öffentlicher und privater Verantwortung handelte, spielten hierbei die egalitären bzw. hierarchischen Diskurse der Cultural Theory eine wichtige Rolle. Es stellte sich die Frage, ob über eine Genossenschaft der Beitrag der Anwohner zu den jährlichen Erhaltungskosten sowie deren Mitbestimmung durch eine Vertretung im Monitoringkomitee geregelt werden soll. Im Zuge der Diskussion konnte man sich zwar nicht auf die Gründung einer Genossenschaft einigen, es wurde allerdings die Bereitschaft zur Mitsprache und Kostenbeteiligung in Aussicht gestellt. Generell steigerte sich das Interesse am Beteiligungsprozess seitens der Anwohner während der Workshops. Für die Forderung der Fachleute und der Stadtgemeinde nach einer institutionalisierten Anwohnerbeteiligung bei der Instandhaltung des Frühwarnsystems breite Zustimmung zu erhalten, würde allerdings noch mehr Information und Bewusstseinsbildung erfordern. Die vorliegende Kompromisslösung (Abb. 2) beinhaltet somit offene Fragen zum Aspekt der Verantwortungsteilung, die in weiteren Runden gelöst werden soll.

#### Zusammenfassung

Für die Sicherung der in der roten Gefahrenzone wohnhaften Gmundner Bevölkerung hatte man sich von 2015 bis 2017 schrittweise an die Ausgestaltung eines Frühwarnsystems angenähert. Ein solch partizipativer und integrativer Ansatz wird in der Literatur als immer wichtiger erachtet, um eine nachhaltige Funktionsweise zu garantieren. Nach einer umfassenden Diskursanalyse und der Einbeziehung aller Beteiligten konnten von Fachleuten Optionen entwickelt werden, die gemeinsam mit den Endnutzern weiterentwickelt und zu einer Lösung ausgearbeitet wurden. Weiters wurden die Betroffenen über die derzeitige geologische Situation am Gschliefgraben sowie über grundlegende Komponenten eines zukünftigen Frühwarnsystems informiert. Nach anfänglicher Skepsis entwickelte sich eine Dynamik unter den Beteiligten, die eine Kompromisslösung begünstigt. Es liegt an den Entscheidungsträgern, diese umzusetzen, um die Liegenschaften am Gschliefgraben in einer angemessenen und langfristigen Weise vor der Hangrutschgefahr zu schützen.

#### Literatur

- BASHER, R. (2006): Global early warning systems for natural hazards: systematic and people-centred. Philosophical Transactions of the Royal Society, **364**, 2167–2184, London.
- BELL, R., MAYER, J., POHL, J., GREIVING, S. & GLADE, T. (2010): Integrative Frühwarnsysteme für gravitative Massenbewegungen (ILEWS). Monitoring, Modellierung, Implementierung. – 270 S., Essen (Klartext Verlag).
- HAJER, M.A. (1995): The Politics of Environmental Discourses. Ecological Modernization and the Policy Process. – 352 S., Oxford (University Press).
- INTRIERI, E., GIGLI, G., CASAGLI, N. & NADIM, F. (2013): Landslide Early Warning System: toolbox and general concepts. – Natural Hazards and Earth System Sciences, **13**, 85–90, Göttingen.
- LINNEROOTH-BAYER, J., SCOLOBIG, A., FERLISI, S., CASCINI, L. & THOMPSON, M. (2016): Expert engagement in participatory processes: translating stakeholder discourses into policy options. Natural Hazards, **81**, 69–88, Paris.
- LÖSCHNER, L., NORDBECK, R., SCHERHAUFER, P. & SEHER, W. (2016): Scientist-stakeholder workshops: A collaborative approach for integrating science and decision-making in Austrian flood-prone municipalities. Environmental Science and Policy, **55**, 345–352, Oxford.
- PARKER, D.J., PRIEST, S.J. & TAPSELL, S.M. (2009): Understanding and enhancing the public's behavioural response to flood warning information. – Meteorological Applications, 16, 103–114, Cambridge.
- SCOLOBIG, A., THOMPSON, M. & LINNEROOTH-BAYER, J. (2016): Compromise not consensus: designing a participatory process for landslide risk mitigation. – Natural Hazards, 81, 45–68, Paris.
- UNISDR United Nations International Strategy For Disaster Reduction (2007): Terminology. – *http://www.unisdr.org/we/inform/terminology#letter-e* (abgerufen am 11.03.2017).
- OÖ. KATSCHG: Landesgesetz, mit dem Bestimmungen über den Katastrophenschutz in Oberösterreich erlassen werden (Oö. Katastrophenschutzgesetz – Oö. KatSchG). Gesamte Rechtsvorschrift für Oö. Katastrophenschutzgesetz: *https://www.ris.bka.gv.at/GeltendeFassung.wxe?Abfrage= LrOO&Gesetzesnummer=20000459* (Fassung vom 27.03.2017).
- Oö. ROG: Landesgesetz vom 6. Oktober 1993 über die Raumordnung im Land Oberösterreich (Oö. Raumordnungsgesetz 1994 Oö. ROG 1994). Gesamte Rechtsvorschrift für Oö. Raumordnungsgesetz 1994: https://www.ris.bka.gv.at/GeltendeFassung.wxe?Abfrage=LrOO&Gesetzesnummer=10000370 (Fassung vom 27.03.2017).

## POSTER

Charts C

#### THEMEN:

Allgemeine und Angewandte Geowissenschaften – Schwerpunkt Salzkammergut

Internationale Aktivitäten der Geologischen Bundesanstalt

Kooperation mit Universitäten

Mineralrohstoffinitiative

Hallstatt

## Projekt Geothermische Nutzung von Altbergbauen 2012–2016

GREGOR GÖTZL (1), JULIA WEILBOLD (1), HEINZ REITNER (1), ALBERT SCHEDL (1), GERHARD HOBIGER (1) & JULIA RABEDER (1)

#### Projektziele

Das Projekt "Geothermische Nutzung von Altbergbauen" soll bundesweit geeignete Standorte für eine geothermische Nachnutzung festlegen und an ausgewählten Pilotstandorten Untersuchungen über die vorhandenen geothermischen Potenziale und deren Nutzungsoptionen durchführen.

#### Projektdurchführung und -methoden

Das Projekt "Geothermische Nutzung von Altbergbauen" begann 2012 im Auftrag des Bundesministeriums für Wissenschaft, Forschung und Wirtschaft (BMWFW) mit der Erstellung einer Vorauswahl von Altbergbaustandorten, die für eine geothermische Nachnutzung geeignet wären. Auf Basis definierter Auswahlkriterien (z.B. Entfernung zu Siedlungs- und Gewerbegebieten) wurden GIS-gestützte Auswertungen durchgeführt. Eine wesentliche Datengrundlage bildeten dabei die bundesweit verfügbaren Flächendatensätze des Bergbau-/Haldenkatasters und der spezifischen Raumnutzungen. Die GIS-gestützt automatisiert generierten Ergebnislisten wurden abschließend durch ergänzende fachliche Expertisen (GBA, BMWFW) auf 66 Bergbaustandorte eingegrenzt (SCHEDL et al., 2012).

Von 2013 bis 2016 wurde die Geologische Bundesanstalt (GBA) mit der Fortsetzung des Projektes betraut. Die Zielsetzung der Folgeuntersuchungen liegt in der Präzisierung der vorliegenden Vorauswahl sowie in der Evaluierung konkreter Standorte hinsichtlich einer geothermischen Nutzung. Der Schwerpunkt der Projektarbeiten liegt dabei auf der Bewertung der ausgewählten Standorte hinsichtlich geowissenschaftlicher (z.B. Grubentemperaturen und Eigenschaften der Grubenwässer) und bergbaulicher Kriterien (z.B. Art und Anlage der ausgewählten Bergbaue oder Identifizierung von Anlagenelementen, die synergetisch genutzt werden können).

Seit 2013 wurden vier Standorte im Detail untersucht (Tab. 1). Die Detailerkundung an diesen Standorten umfasste Begehungen zwecks Lokalaugenschein und Erhebungen von Wassertemperatur und Wasserchemismus, um Aussagen über die geothermischen Nachnutzungsoptionen tätigen zu können. Die Erhebung der Wassertemperatur erfolgte in Drainagevorrichtungen (Karlschacht: Pumpensumpf-Ableitung und Drainage Teich; Oberhöflein: Johannesstollen, der zur Trinkwasserversorgung genutzt wird; Schwaz: Wilhelm-Erbstollen und Sigmund-Erbstollen) sowie in teilgefluteten Stollen (Arzberg, im unteren Raabstollen gibt es schon eine geothermische Nutzung). Die Temperaturmessungen erfolgten sowohl in Form von Stichtagsmessungen (z.B. Temperaturprofilmessungen in Schächten), als auch in Form von Langzeitmessungen mittels Datenlogger (Beobachtungsdauer ca. ein Jahr). Die Erhebung physikochemischer und chemischer

Tab. 1.

Übersicht der seit 2013 untersuchten Standorte von Altbergbauen durch die GBA.

Standort	Bundesland	Rohstoff	Status Projektfortschritt	
Rosental,	Steiermark	Braunkohle	Standortbewertung abgeschlossen.	
Karlschacht				
Arzberg	Steiermark	Pb, Zn, Ag	Standortbewertung abgeschlossen.	
Oberhöflein,	Niederösterreich	Steinkohle	Felderhebungen Johannesstollen und	
Grünbach			Umgebung in Durchführung.	
Schwaz	Tirol	Cu, Ag	Felderhebungen Wilhelm-Erbstollen und	
			Sigmund-Erbstollen in Durchführung.	

Parameter erfolgte in Form von Stichtagsmessungen und hydrochemischer Analytik der Wasserproben im Labor der Fachabteilung Geochemie der GBA. Diese Ergebnisse sollen Hinweise liefern, welche Inhaltsstoffe der Wässer im Zuge einer Anlagenplanung bzw. Anlagenerrichtung zu prüfen sein werden.

#### Projektergebnisse

Am **Standort Rosental (Karlschacht)** wird als geeignetste geothermische Nutzungsvariante die thermische Nutzung der Grubenwässer mittels Wasser-Wasser Wärmepumpen im Bereich der Pumpenanlage in der Tonnlage empfohlen. Im Nahbereich der Tonnlage (Distanz weniger als 500 m) befinden sich zudem potenzielle Wärmeund Kälteabnehmer. Es sei an dieser Stelle darauf hingewiesen, dass die Grubenwässer bereits teilweise für die Beheizung eines angrenzenden Gewerbebetriebs genutzt werden.

Am Standort Arzberg wird der Bereich des Raabstollen-Systems bereits für die Klimatisierung einer Käserei genutzt. Für diesen Standort ließen sich gemäß dem gegenwärtigen Kenntnisstand zusätzlich der Raabschacht sowie der Josefi Schacht geothermisch nachnutzen. Im Bereich des Raabschachtes wäre eine Nutzung in einem offenen Kreislauf durch Einbringung von Leitungen in unterschiedlichen Tiefen möglich. Mit Hilfe dieses Anwendungskonzeptes könnte der Raabschacht auch als Schichtspeicher verwendet werden. Eine weitere, vorab bereits in Betracht gezogene Nutzungsvariante stellt die Nutzung des gefluteten Josefi Stollens im Nahbereich der Gemeinde Arzberg dar. Da der Stollen nicht mehr zugänglich ist, wäre in diesem Fall eine Nutzung mittels Brunnendublette notwendig.

Im Nahbereich des Raab- und Erbstollens existieren keine weiteren Wärmeabnehmer, sodass ein Ausbau der geothermischen Nachnutzung des Altbergbaus an diesem Standort für einen erweiterten Bedarf des Gewerbebetriebes zur Verfügung stehen würde.

Am **Standort Oberhöflein-Rittergründe** wurde die als Trinkwasserversorgung der Gemeinde genutzte Ableitung von Bergwässern im Bereich des Johannesstollens untersucht. Aufgrund der bereits bestehenden Infrastruktur zur Fassung und Ableitung der Stollenwässer ist die thermische Nutzung der Wässer mittels Wasser-Wasser Wärmepumpe zu empfehlen. Da der Betriebsbereich des ehemaligen Bergbaus (Standort Rittergründe) in ein neues Gemeindezentrum mit gemischter Nutzung umgewandelt werden soll, ist eine thermische Nutzung der Stollenwässer eine kostengünstige und sinnvolle Maßnahme. Sollte der Wärmebedarf der Neubauten das thermische Angebot der Stollenwässer übertreffen, wäre eine kombinierte Nutzung mit Solarthermie und Erdwärmesonden-Speicher möglich.

Am **Standort Schwaz** wurde im Oktober 2016 durch Einbau der Datenlogger mit der Messkampagne begonnen, nach Vorliegen der Messreihe werden die Auswertungen für diesen Standort erfolgen.

#### Literatur

SCHEDL, A., REITNER, H. & GÖTZL, G. (2012): Geothermische Nachnutzung von Altbergbauen – Vorauswahl. – Bericht zu Werkvertrag BMWFJ-60.250/0006-IV/7/2012, Geologische Bundesanstalt, Wien.

## Erlesene Geologie: Bibliothek, Verlag und Archiv an der GBA

Mit der Fachabteilung Bibliothek, Verlag, Archiv verfügt die Geologische Bundesanstalt (GBA) über eine der größten Serviceeinrichtungen im Bereich geowissenschaftlicher Informationsdienstleistungen Österreichs. Im Sinne der Open Access-Idee wird der freie Zugang zu den Beständen der Bibliothek und des Archivs forciert. Zugriffe auf mehr als 10.000 PDF-Dokumente im Jahr – Tendenz steigend – belegen, dass die GBA damit im Trend der Zeit liegt.

Im Verlag der GBA erscheinen seit 1850 geowissenschaftliche Publikationen und Karten. Das Spektrum reicht von Periodika (Jahrbuch, Abhandlungen, Archiv für Lagerstättenforschung, Berichte, Geologische Spaziergänge) über Bücher bis zu geologischen Karten in verschiedenen Maßstäben (1:50.000, 1:200.000, ...) mit Erläuterungen. Ergänzend gibt es populärwissenschaftliche Veröffentlichungen. Die Produkte des Verlages sind Grundlage für den Schriftentausch, darüber hinaus werden sie via Webshop und im Buchhandel vertrieben. Online sind sie über die Website und den Bibliothekskatalog abrufbar. Die Bestände des so genannten Amtsarchivs, wo der institutionelle Schriftverkehr dokumentiert ist, sind bis 1939 über Findbücher erschlossen, die Register der einzelnen Bände sind online verfügbar.

Die Bibliothek setzt auch im 21. Jahrhundert auf analoge Bestände. Die Akquisition erfolgt über den Schriftentausch (> 500 Tauschpartner), Kauf sowie Geschenke, wobei Vor- und Nachlässe zunehmend an Bedeutung gewinnen und teils große Zuwächse im Archivbereich bringen. Die Bereitstellung erfolgt vermehrt – sofern rechtlich möglich – auf digitalem Wege. Neben Artikeln der European Geosciences Union (EGU), die im PDF-Format vorliegen, kommen weitere 52.929 PDF-Dateien. Diese decken alle GBA-Publikationen (Periodika, Karten und Erläuterungen) ab. Dazu kommen historische Arbeiten, sowie Publikation(sreih)en, von denen das Einverständnis zur Verfügungsstellung als PDF vorliegt. THOMAS HOFMANN (1) & CHRISTOPH JANDA (1)

#### Die Strategie

Ziel ist, die für Österreich relevante geowissenschaftliche Literatur möglichst umfassend zu sammeln, zu erschließen und zur Verfügung zu stellen. Dazu zählen neben internationalen Zeitschriften vor allem wenig bekannte Publikationen, Hochschulschriften, Berichte, Gutachten, Exkursionsführer, Fotos und Bilder als Teil der Grafischen Sammlung und vieles, was unter den Begriff "graue Literatur" fällt. Die Kompetenz liegt unter anderem in der systematischen und auch retrospektiven Erfassung und Erschließung der Literatur mit Schwerpunkt auf Österreich.

Beim Verlag mit fast ausschließlich großformatigen Publikationen gibt es einen Österreichschwerpunkt sowie die Möglichkeit, auch Tafelwerke und systematische Arbeiten abseits des international üblichen Peer Review-Systems zu veröffentlichen.

#### **Das Serviceangebot**

Der Zugang zu den Beständen erfolgt über den Online Katalog (OPAC) in Deutsch und Englisch. Eine wesentliche Suchhilfe ist die systematische Beschlagwortung mit geografischem Schwerpunkt, wo neben heimischen Kartenwerken im Blattschnitt (BMN und UTM) auch politische Bezirke berücksichtigt werden. Mit Ende Februar 2017 sind 119.553 Artikel erfasst, des Weiteren 137.322 Artikel der EGU, 122.047 Bücher und 29.667 geowissenschaftliche Karten sowie 8.187 Zeitschriften.

Online Katalog: http://opac.geologie.ac.at

## Das Blatt 96 Bad Ischl aus neuer Perspektive – Harmonisierung der Geodaten nach INSPIRE

CHRISTINE HÖRFARTER (1) & VIKTORIA HAIDER (1)

#### INSPIRE

Bei "INSPIRE" (Infrastructures for Spatial Information in the European Community) handelt es sich um eine Richtlinie des Europäischen Parlamentes und des Europäischen Rates vom 14. März 2007 zur Schaffung einer gemeinsamen Europäischen Geodateninfrastruktur. Die Strukturen des Geodatensatzes sollten in den Teilen, in denen er auf ein INSPIRE-Datenmodell beziehbar ist, INSPI-RE-konform transformiert werden.

#### Umsetzung

Die Grundlage für den Aufbau der Dateninfrastruktur bilden die Durchführungsbestimmungen, sogenannte Implementing Rules (IR). Wobei die Empfehlungen zur Umsetzung von INSPIRE, die "Data Specifications" – im Falle der Datensätze zu den Geologischen Karten die Datenspezifikation (INSPIRE THEMATIC WORKING GROUP GEOLOGY, 2013) zum Thema Geologie (Annex II) – beschreiben, in welcher Art und Weise die Geodatensätze technisch sowie inhaltlich harmonisiert werden sollen. Das in der Spezifikation illustrierte und genau definierte Kerndatenmodell zur Geologie (IN-SPIRE-Datenmodell auf Basis von GeoSciML-Standard) dient als Grundlage zur Harmonisierung von geologischen Inhalten der GBA-Geodatensätze.

#### **GBA-Thesaurus Tool**

Durch die Möglichkeit eigene Vokabulare (nach vorgegebenen Standards) verwenden zu können, lassen sich durch den Thesaurus der Geologischen Bundesanstalt (GBA) die (Sub-)Klassen "Lithologie" und die Namensgebung der Klasse "Geologic Unit" (z.B. Namen lithostratigrafischer Einheiten Österreichs) mit GBA-Wissen als Basisvokabular harmonisieren (Abb. 1; GBA-Thesaurus: *http://resource.geolba.ac.at/*).

#### Thesaurus – DataViewer-Modul

Aufbauend auf dem Thesaurus der GBA wurde als Modul der GBA DataViewer entwickelt, wel-

Minerale		
Geologische Żeitskala	Allgäu-Formation 🕄 💰	ADD. 1 Thesaurus-Ergebnisseite
Geologische Strukturen	URI: http://resource.goolda.ac.ia/GeologicUnit/425	zur Suche nach dem Begriff
Geologische Einheiten	Beschreibung	"Allgäu-Formation" im
Lithologie Tektonische Einheiten	Alter (gesichert) Unterjura (Las)-Milteljura (Dogger), Lithologis Schiefer, Lithologische Beschreibung Graue Fleckenkalke, gut geschichtet (Ältere Algauschichten, s. d.) bituminöse Schiefer (Miltere Algauschichten, s. d.) mit Einlagerung von Epsilonkalk (s. d.), sowie ähnlich ausgebildete Junger Algauschichten (s. d.) Brekziöse Einschaltungen in From der Eisenspitzbrekzie (s. d.). Dunkle Flecken entstanden durch Pyrtlanericherungen, die aus Kothilungen in From und Wohnbauten bevorgehen (Tolimann, 1975). Jacobshagen (1985) 6 ft. unterschied zwischen	Thesaurus der GBA. Unter dem auswählbaren Balken "Details" befindet sich die Verlinkung zum DataViewer Modul (Abb. 1a), dessen Ansicht sich darauf in einem zweiten Browser- Fenster öffnet. Abb. 1a Verlinkung über den "Karten- Button" zum DataViewer- Modul, welches sich in einem eigenen Browserfenster öffnet (Abb. 2)
	den kalkarmen Mittleren und den kalkreichen Jüngeren und Alteren Algäuschichten, (Piler et al., 2004. LithstratDB). Unterstägsenische Delenten der Ossenschlichen Stelligzenische Kommuten Aug zurschlichten, (Piler et al., 2004. LithstratDB). Unterstägsenische Delenten der Ossenschlichen Stelligzenische Kommuten, fag. Invenzer, K. d., Steller, H. Lein, H. Leinerer, A. Miter HB, Bager, H., Breit, C.W., Ossen, M., Reschauer, M., Hochmann, B., van Hulen, D., Nonmay, HD., Norma, D., Lein, R., Leiner, A., Leinerer, A., Miter HB, Bager, H., Breit, K., Rassel, K., Rassel, K., Roshnauer, H., Bunnesseger, H., Wager, M. & Weisel, D. (2004). Die erstegesprücher Teelle von Dieneion 304 technisten Schleidbilgen, - Kommutien to die zeldenbilgigune und entitigenbilden Erbischung Observiore, Gemeinstrater, Massennis der Hittenprefere und Ossenstichtung K. & Kommuten, Toler.	
	Aligauschichten Semantlische Relationen	
	Ubergeordnete Begriffe	
	Notation • 2560 - ID LithStrat LITH_EINH • Details	true     DataViewer (beta) - Info
	RDF/001L Download	

(1) Geologische Bundesanstalt, Neulinggasse 38, 1030 Wien. christine.hoerfarter@geologie.ac.at

cher das Abfragen einzelner Polygone und deren verknüpften Inhalten zulässt (Abb. 1a). Diese erste öffentliche Version des DataViewers ist dazu gedacht über einen Thesaurus-Begriff eine strukturierte Suche in den zentralen Datensätzen der GBA zu ermöglichen und zu visualisieren. Der DataViewer ist als ergänzende Information zu publizierten Kartenblättern zu verstehen und zu verwenden (Abb. 2).

#### Fazit

Die Geodaten zum Thema Geologie für das Blatt 96 Bad Ischl wurden nach dem INSPIRE-Datenmodell in einem ersten Ansatz nach den dargestellten Themen bzw. Klassen "Geologic Event" und "Geologic Unit" mit deren diversen Unterklassen und beschreibenden Attributen harmonisiert.

Ziel der europaweiten einheitlichen Strukturierung der Geodaten nach INSPIRE ist eine technische und inhaltliche grenzüberschreitende Interoperabilität. Daraus ergibt sich die Möglichkeit, die Daten flexibel innerhalb eines Geodatensatzes zu einem Thema zu filtern (z.B. innerhalb des Themas Geologie die Lithologie, Tektonische Einheiten, Alter, Prozess...) sowie darzustellen und mit Datensätzen anderer Länder und Themenbereiche zu kombinieren.

#### Literatur

INSPIRE THEMATIC WORKING GROUP GEOLOGY (2013): D2.8.II.4 INSPIRE Data Specification on Geology-Technical Guidelines. – European Commission Joint Research Centre 2013, 362 S.

Link zu den GBA-Thesaurus FAQs:

http://resource.geolba.ac.at/thesaurus/FAQ.html. – Redaktion GBA-Thesaurus 2015.

#### Abb. 2:

DataViewer Screen Shot, welcher die Verbreitung der "Allgäu-Formation" auf Blatt 96 Bad Ischl visualisiert. Neben der Möglichkeit, sich den Legendentext zur Karte und unterschiedliche Basis-Layer einblenden zu lassen (z.B. Topografie von basemap.at), stehen links im Bild die bereits nach INSPIRE harmonisierten Informationen zur Verfügung, nach welchen auch gefiltert werden kann. Die Programmierung des DataViewer-Moduls erfolgte durch Arno Kaimbacher (IT & GIS, GBA).



## Zum unterirdischen Abfluss des Egelsees/Unterach am Attersee – Ergebnis eines Salzmarkierungsversuchs in der Flyschzone

DIRK VAN HUSEN (1), GERHARD SCHUBERT (2), RUDOLF BERKA (2), GERHARD HOBIGER (2), PHILIPP LEGERER (2), ANDREA SCHOBER (2) & GERHARD SCHLICHTNER (3)

#### **Geologischer Rahmen**

Am Westufer des Attersees ist südlich Stockwinkel eine ausgedehnte Massenbewegung entwickelt, welche die gesamte Ostflanke des Kleinen Hollerberges bis Aichereben im Norden erfasst hat (Abb. 1; VAN HUSEN et al., 1989). Sie ist die Folge der starken Erosion des Gletschers, der sich am Hollerberg in die beiden Arme der Attersee- und der Mondseefurche teilte. Angelegt ist die Massenbewegung in den mergelreichen Schichtfolgen der Piesenkopf- und Kalkgraben-Formation ("Zementmergelserie"), welche die gesamte Süd- und Ostflanke des Rückens Hochpletspitz–Hollerberg aufbaut (VAN HUSEN & EGGER, 2014).

**Morphologie:** Die gesamte Flanke zeigt etwa in der unteren Hälfte eine vielgliedrige Treppung, wodurch deutlich glazial geformte kuppige Bereiche von steileren Böschungen unterbrochen werden. Am deutlichsten ist die glaziale Überprägung am Hangfuß südlich Stockwinkel und unmittelbar östlich des Egelsees erhalten. Deutlich unterschiedlich dazu ist der obere Teil durch scharf modellierte Gräben und steile Böschungen charakterisiert, die auf eine jüngere Zerlegung hinweisen (Abb. 1). Umschlossen wird die ganze Massenbewegung von einer 40–50 m hohen Abrissnische, die von Aichereben bis zum Kleinen Hollerberg zu verfolgen ist.

Bei der Massenbewegung in der Ostflanke des Kleinen Hollerberges handelt es sich nach dem Erscheinungsbild um eine Zerlegung durch eine Vielzahl an Rotationsgleitungen, die wohl durch Klüfte parallel zum Hangverlauf begünstigt wurden (Abb. 2; VAN HUSEN & EGGER, 2014).

**Hydrologie:** Im gesamten oberen Teil der Massenbewegung mit den frischen Formen sind im Gegensatz zum unteren Teil mit seinen kleinen Bächen auffälligerweise kaum Gerinne zu finden, sodass von einer weitgehend unterirdischen Entwässerung auszugehen ist. Dafür sprechen auch



<sup>(1)</sup> Rustonstraße 7/4, 4810 Gmunden. dirk.van-husen@aon.at

(2) Geologische Bundesanstalt, Neulinggasse 38, 1030 Wien.

<sup>(3)</sup> Kohlstatt 36, 4866 Unterach am Attersee.



Abb. 3. Schwinde südöstlich des Egelsees (Foto: Dirk van Husen); der vom Egelsee kommende Bach versickert gänzlich.

die Schwinden in diesem Bereich (Abb. 1; VAN HU-SEN & EGGER, 2014). Eine der Schwinden benützt auch der Abfluss des Egelsees (Abb. 3). Auf Basis von pollenanalytischen Untersuchungen durch BOBEK & SCHMIDT (1975) an den Seesedimenten ist eine Anlage der Seemulde durch die Massenbewegung um ca. 16000 vor heute anzunehmen (VAN HUSEN & EGGER, 2014). Seit damals ist offensichtlich der Abfluss in der heutigen Form über die Schwinde erfolgt, da es keinerlei Anzeichen für einen, auch nur temporären Überlauf gibt. Der Abfluss erfolgt wohl entlang gut wasserwegiger Klüfte, die möglicherweise auch durch anhaltende langsame Bewegungen offengehalten werden.

#### Quellaufnahme und hydrochemische Beprobung

Im Frühjahr 2015 wurde – als Vorbereitung für den unten beschriebenen Markierungsversuch – im Umfeld der Schwinde des Egelsees eine Quellaufnahme durchgeführt. Am 29. Mai 2015 erhielt der See durch kleine aus Westen kommende Gerinne einen Zufluss im Ausmaß von mehreren I/s. Am 29. Mai betrug die elektrische Leitfähigkeit dieser Wässer 346 bis 356  $\mu$ S/cm, während der Abfluss des Sees – an diesem Tag waren es etwa 10 l/s – an der Schwinde 315  $\mu$ S/cm aufwies. Aufgrund der hohen Leitfähigkeit des Seewassers ist anzunehmen, dass es zu einem erheblichen Teil aus diesen Zuflüssen stammt.

Gut 400 m östlich der Schwinde treten mehrere Quellen aus (Abb. 4), nämlich die etwas höher gelegene Quellgruppe A, von der die Quelle A2 mit Abstand die höchste Schüttung aufweist, und südlich davon die etwas tiefer gelegenen Quellen B und C. Am 8. Oktober 2015 war bei der Quelle A1 eine Schüttung von etwa 3 l/s festzustellen, bei A2 ca. 15 l/s, bei A3 ca. 5 l/s, bei der Quelle B etwa 0,4 l/s und bei der Quelle C ca. 2,5 l/s. Dabei unterschied sich die Quellgruppe A aufgrund der vergleichsweise niedrigeren elektrischen Leitfähigkeit (265 bis 311 µS/cm) und höheren Wassertemperaturen (12,9 bis 13,4°C) deutlich von den Quellen B und C (452 bzw. 420 µS/cm und 9,6 bzw. 9,7° C). Zur selben Zeit wies der Abfluss des Egelsees bei der Schwinde einen Abfluss von etwa 20 l/s, und eine elektrische Leitfähigkeit von 275 µS/cm und eine Temperatur von 13,2° C auf, was etwa den Wässern der Quellgruppe A entsprach.

Die am 8. Oktober 2015 vor der Salzeinspeisung gezogenen Wasserproben zeigen deutlicher auf, dass die Quellwässer der Gruppe A hydrochemisch dem Wasser des Egelsees sehr ähnlich sind. Im Detail kommen die Wässer der Gruppe A auf einer Mischgeraden zwischen Egelseewasser und dem Wasser der Quellen B und C zu liegen, nämlich nahe dem Endglied Egelseewasser. Dabei kommt die am stärksten schüttende Quelle A2 dem Abfluss des Egelsees hydrochemisch am nächsten.

Abb. 4.

Lage der Schwinde des vom Egelsee kommenden Baches und der unterhalb liegenden Quellen.





Abb. 5. Durchgangskurven der Quellen A1, A2 und B. Die Salzeinspeisung in der Schwinde beim Egelsee erfolgte am 8. Oktober 2017 um 17:05 Uhr. Die Quelle A2, bei der die Salzwolke zuerst auftrat, weist mit etwa 15 l/s die stärkste Schüttung unter den untersuchten Quellen auf.

#### Salzmarkierung

Nach einer niederschlagsreichen Periode wurden am 8. Oktober 2015 um 17:05 Uhr in die Schwinde des vom Egelsee kommenden Baches 100 kg vorgelöstes Kochsalz eingespeist. Schon Tage zuvor wurden im Abfluss des Egelsees sowie in den Quellen A1, A2, A3 und B Datensammler ausgelegt, die alle zehn Minuten die elektrische Leitfähigkeit und Wassertemperatur aufzeichneten. Bereits weniger als drei Stunden nach der Einspeisung konnte die Salzwolke in den Quellen A1 und A2 nachgewiesen werden (Abb. 5), während in Quelle B zu diesem Zeitpunkt (und auch später) keine Beeinflussung der elektrischen Leitfähigkeit zu verzeichnen war. Der in der Quelle A3 ausgelegte Datensammler lieferte leider keine auswertbaren Messungen.

#### Schlussfolgerungen

Der in einer Schwinde versickernde Abfluss des Egelsees bei Unterach am Attersee (er liegt nach ÖK 50, Blatt 65 Mondsee, 624 m ü. A., Abb. 4) tritt in der etwa 400 m östlich der Schwinde auf etwa 580 m Seehöhe gelegenen Quellgruppe A wieder aus. Das geht aus der Beschaffenheit des Quellwassers, aber vor allem aus dem durchgeführten Markierungsversuch hervor: Demzufolge erreichte die am 8. Oktober 2015 um 17:05 in die Bachschwinde eingebrachte Salzlösung die Quellen A1 und A2 bereits drei Stunden bzw. 2,5 Stunden danach. An der etwas tiefer gelegenen Quelle B war keine Beeinflussung durch das eingespeiste Kochsalz festzustellen.

Die hydrochemischen Analysen zeigten aber auch auf, dass am Abfluss der Quellgruppe A ein gewisser Anteil an Grundwasser dabei ist, der nicht direkt vom Egelsee kommt und hydrochemisch dem Wasser der Quellen B und C entspricht.

#### Literatur

- ВОВЕК, M. & SCHMIDT, R. (1975): Pollenanalytische Untersuchung von Seebohrkernen des nordwestlichen Salzkammergutes und Alpenvorlandes. – Linzer biologische Beiträge, **7**/1, 5–34, Linz.
- HUSEN VAN, D. (Red.) & EGGER, H. (Red.) (2014): Erläuterungen zu Blatt 65 Mondsee. – 143 S., Geologische Bundesanstalt, Wien.
- HUSEN VAN, D., BEHBEHANI, A., BRAUNSTINGL, R., CHONDROGIAN-NI, C., HELBIG, I., HORSTHEMKE, E., JANOSCHEK, W., MÜLLER, I., NISSEN, I., PAVLIK, W., PLÖCHINGER, B., PREY, S., SCHMIDT, H., SCHNEIDER, I., SPERL, H., STAKENBROCK, I., STURM, M. & WETZEL, B. (1989): Geologische Karte der Republik Österreich, 1:50.000, Blatt 65 Mondsee. – Geologische Bundesanstalt, Wien.

### Katastropheneinsatz in Pechgraben

Birgit Jochum (1), David Ottowitz (1), Stefanie Gruber (1), Stefan Pfeiler (1), Robert Supper (1), Mandana Peresson (1), Günter Moser (2) & Wolfgang Gasperl (3)

Nach langanhaltenden Niederschlägen Anfang Juni 2013 erfolgte am 6. Juni 2013 die Reaktivierung des beinahe gesamten potenziellen Rutschgebietes einer Hangrutschung in Pechgraben mit einem Ausmaß von ca. 80 ha. Es handelte sich somit um die größte Hangrutschung Österreichs der letzten fünf Jahre. Mehrere Millionen Kubikmeter Lockermaterial bewegten sich langsam in Richtung Siedlungsgebiet. Ein Mehrfamilienhaus samt Nebengebäuden war unmittelbar gefährdet und musste in der Nacht von 6. auf 7. Juni 2013 evakuiert werden. Am 7. Juni 2013 wurde umgehend mit den Sofortmaßnahmen begonnen und die Wildbach- und Lawinenverbauung (WLV), die Geologische Bundesanstalt (GBA), das Institut für Alpine Naturgefahren (IAN) sowie das Ingenieurbüro Moser/Jaritz zur Unterstützung herangezogen. Neben den Sofortmaßnahmen, die im Wesentlichen aus Wasserausleitung und Materialabfuhr (Abb. 1) bestanden, entschied man sich



für umfangreiche technische Maßnahmen mit Materialverlagerungen und Stützrippen zur Entwässerung. In den ersten Tagen nach Aktivierung der Rutschung wurde ein ausgedehntes Messnetz aus GPS-Punkten angelegt, welches zunächst täglich eingemessen wurde und dadurch aktuelle Bewegungsraten abschätzen ließ. Im Weiteren wurden in der Akutphase zur weitläufigen Strukturerkundung eine aerogeophysikalische Befliegung durchgeführt und einige Geoelektrikprofile gemessen (Abb. 2). Diese Untersuchungen dienten vor allem zur lateralen und vertikalen Abschätzung der Ausdehnung des Rutschbereiches.

Ein umfassendes Monitoringnetzwerk, bestehend aus Geoelektrik, Inklinometer und Fotomonitoring, wurde angelegt, um die Entwicklung der Hangbewegung zu dokumentieren (Abb. 3), eventuell ein verbessertes Verständnis für zugrundeliegende Prozesse zu erlangen, und um im Bedarfsfall weitere Maßnahmen setzen zu können (LINDNER et al., 2016).

#### Literatur

LINDNER, G., SCHRAML, K., OTTOWITZ, D., JOCHUM, B., GRUBER, H. & TARTAROTTI, T. (2016): Monitoring im Bereich der Rutschung Pechgraben (Oberösterreich): Methodik und Ergebnisse. – Berg- und Hüttenmännische Monatshefte, **161**, 553–565, Wien.

DOI: https://dx.doi.org/10.1007/s00501-016-0543-x

Abb. 1. (links oben) Luftaufnahme zwei Tage nach der Reaktivierung der Rutschung vom 6. Juni 2013 in Pechgraben. Abb. 2. (links unten) Überblickskarte der Messungen der GBA im Pechgraben. Abb. 3. (unten) Aufnahmen einer Fotomonitoringstation mit einem Abstand von sechs Wochen im sich stark bewegenden Rutschbereich.



Geologische Bundesanstalt, Neulinggasse 38, 1030 Wien. *birgit.jochum@geologie.ac.at* (2) ZT Büro Moser/Jaritz, Münzfeld 50, 4810 Gmunden.
 Wildbach- und Lawinenverbauung, Sektion Oberösterreich, Schmidtorstraße 2/II, 4020 Linz.

## Geophysikalisches und Geotechnisches Monitoring am Gschliefgraben

BIRGIT JOCHUM (1), DAVID OTTOWITZ (1), STEFANIE GRUBER (1) ROBERT SUPPER (1) & ANNA ITA (1)

Nach der letzten großen Rutschung am Gschliefgraben 2007/2008 und dessen Sanierung durch die Wildbach- und Lawinenverbauung (WLV) wurde 2009 ein geoelektrisches Monitoring durch die Geologische Bundesanstalt (GBA) aufgebaut. Ziel der Messungen war die Infiltration des Niederschlages zu erfassen und um Aussagen über den Feuchtigkeitsgehalt des Gleithorizontes zu treffen. Nach einer ersten Installation eines Prototyps des GEOMON4D-Systems in Sibratsgfäll, Vorarlberg, war dies die zweite permanente geoelektrische Monitoring-Station mit dem mittlerweile fertig entwickelten GEOMON4D-Messgerät.

Aufbau des geoelektrischen Monitorings sowie Einbau

Abb. 1.

Um das Monitoring optimal zu platzieren sowie die Struktur des Rutschkörpers zu erkunden, wurden im Vorfeld mehrere Geoelektrik- und Georadar-Profile gemessen sowie Hubschraubergeophysik (EM, Radiometrie, Magnetik) durchgeführt. Details zu diesen Untersuchungen, siehe OTTOWITZ et al. (2017).

Das geoelektrische Monitoring bestand aus einem Längs- und einem Querprofil. Um die Bewegung des Gschliefgrabens zu erfassen, wurde ein automatischer Inklinometer, bestehend aus 33 Modulen à 1 m, verwendet (Abbildung 1 zeigt die Installation beider Messsysteme). Ein Vergleich eines Messergebnisses des geoelektrischen Monitorings mit den Inklinometerdaten zeigt, dass sich der Rutschhorizont im Bereich des Über-



(1) Geologische Bundesanstalt, Neulinggasse 38, 1030 Wien. birgit.jochum@geologie.ac.at



Abb. 2. Geoele

ganges vom niederohmigen zum hochohmigen elektrischen Widerstand befindet (JOCHUM et al., 2010), siehe dazu Abbildung 2. Es zeigte sich, dass der Hang die letzten sieben Jahre permanent in Bewegung ist, insgesamt 22 cm, wobei die Geschwindigkeit mit der Zeit von 11 mm/Monat auf 0,5 mm/Monat abnahm (Abb. 3).

Das geoelektrische Monitoring wurde im Jahr 2015 nach sechsjähriger, nahezu kontinuierlicher Datenaufzeichnung abgebaut. Das geoelektrische Monitoring hat nur im oberflächennahen Bereich signifikante Änderungen des elektrischen Widerstandes gezeigt, die hauptsächlich auf die saisonalen Temperaturschwankungen zurückzuführen sind. Die erhoffte Beobachtung einer Infiltration des Niederschlages in den Rutschkörper konnte mit dieser Methode aufgrund der geologischen Gegebenheiten nicht gemacht werden. Der Inklinometer wurde 2016 entfernt. Im Laufe dieses Jahres (2017) werden am Gschliefgraben im Rahmen eines Frühwarnsystems zwei neue Inklinometer eingesetzt (PREUNER et al., 2017). Geoelektrisches Messergebnis kombiniert mit der tiefenabhängigen Bewegungscharakteristik des Inklinometers.

#### Literatur

- JOCHUM, B., LOVISOLO, M., SUPPER, R., ITA, A., BARON, I. & OTTOWITZ, D. (2010): Preliminary results of the ground geophysical monitoring. – Geophysical Research Abstracts, **12**, EGU2010-3276-1, EGU 2010.
- OTTOWITZ, D., WINKLER, E., BAROŇ, I., AHL, A., PFEILER, S., SLAPANSKY, P., JOCHUM, B., RÖMER, A. & SUPPER, R. (2017): Geophysikalische Untersuchungen am Gschliefgraben. – Tagungsband zur Arbeitstagung der Geologischen Bundesanstalt 2017, 178–184, Wien.
- PREUNER, P., RIEGLER, M. & SCOLOBIG, A. (2017): Sozialwissenschaftliche Aspekte beim Aufbau eines Frühwarnsystems am Gschliefgraben. – Tagungsband zur Arbeitstagung der Geologischen Bundesanstalt 2017, 185–190, Wien.

Abb. 3. Verlauf der Rutschbewegung im Bereich des Gleithorizontes in 10–12 m Tiefe für den Zeitraum 24.09.2009–12.10.2016.



## Gerhard Schäffer – unser ehemaliger Allround-Kollege der angewandten Geologie im Salzkammergut

ARBEN KOÇIU (1) & NILS TILCH (1)

#### **Zur Person**

Gerhard Schäffer war von 1973 bis 1999 Mitarbeiter der Geologischen Bundesanstalt, 1979 Mitgründer und erster Leiter der Fachabteilung für Ingenieurgeologie.

Stets war er fachübergreifend neugierig und ohne Scheu hinsichtlich neuer, bisweilen "unorthodoxer" Erkundungs- und Untersuchungsmethoden mit Innovationspotenzial (z.B. Bodengasmessungen zwecks Identifizierung aktiver Störungszonen, SCHÄFFER, 1980). Dies ermöglichte ihm ein sich ständig erweiterndes und interdisziplinäres Fachwissen. Vor diesem Hintergrund war er im Verlauf der Jahre mit unterschiedlichen Aufgaben und Zielsetzungen in verschiedenen Fachdisziplinen (u.a. Ingenieurgeologie, Hydrogeologie, Geothermie) im gesamten Bundesgebiet betraut.

#### Seine Inspiration: Das Salzkammergut

Bereits im Jahr 1968 wurde durch ihn – ausgehend von seinen Studien im Salzkammergut – die Bedeutsamkeit und zukunftsweisende Tragweite des Erkennens und des Bewertens geogener Naturgefahrenprozesse thematisiert. Im Verlauf der folgenden Jahre kristallisierte sich immer wieder das Salzkammergut, insbesondere der Salzberg von Hallstatt und der Plassen, als bevorzugte Region seiner Aktivität heraus. Dies ist wohl nicht zuletzt auf den Beginn seiner akademischen Laufbahn in Form einer Dissertation im Umfeld des Plassen und der damals entstandenen Verbundenheit zum Salzkammergut zurückzuführen (SCHÄFFER, 1971a, b). Dort beschäftigte er sich in den folgenden Jahren intensiv sowohl mit regionalgeologischen Inhalten (Stratigrafie, Tektonik, siehe Schäffer, 1976, 1985; Schäffer & Steiger, 1986), als auch mit gefahrenrelevanten Geoprozessen im Rahmen von detaillierten Fallstudien (u.a. SCHÄFFER, 1978, 1979, 1983a-g).

#### Sein Engagement für Karten zwecks Gefahrenprävention

Inspiriert durch seine Erkenntnisse im Salzkammergut erarbeitete er im Jahr 1980 ein innovatives Gesamtkonzept für die Erstellung der "Karte der geologisch-geotechnischen Risikofaktoren des Bundesgebietes" (SCHÄFFER, 1983h–j), welches sich aus der Forderung nach geotechnischer Sicherheit – insbesondere im alpinen Anteil des Bundesgebietes – für das Siedlungs-, Bau-, Verkehrs- und Transportwesen (einschließlich Pipelines und Fernwasserleitungen) sowie für die Raumplanung und den Umweltschutz ergibt.

In den folgenden Jahren legte er zusammen mit seinen Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern der Fachabteilung die fachlich innovativen Grundsteine hinsichtlich

- einer systematischen Sammlung, Archivierung und Bewertung von analogen Informationen zu den gefahrenrelevanten Geoprozessen (z.B. Georisikofaktorenkarten) sowie
- einer systematischen wenn auch heuristischen – geotechnischen Bewertung der Geosphäre (Karten der Geotechnischen Grobcharakteristik).

Dies mündete im Jahr 1983 in die bundesweit ersten analogen Karten im Maßstab 1:50.000 (SCHÄFFER, 1983h—j) und 1:200.000 (SCHÄFFER, 1983k, l).

Später in den 1990er Jahren wurde durch ihn im Rahmen eines IDNDR-Projektes (International Decade for Natural Desaster Reduction) in innovativer Weise die Ursachenforschung geogener Risiken als elementarer Baustein einer zielführenden Gefahrenprävention und Gefahrenreduktion in das Zentrum gestellt. Dies führte auch zu weiteren, fachlich erforderlichen Schritten für die an der Geologischen Bundesanstalt (GBA) praktizierte systematische Sammlung und Archivierung von analogen Informationen zu geogenen Gefahrenprozessen (gravitative Massenbewegungen, Erdbeben, hydrogeologische Komponenten der Hochwasserentstehung).

<sup>(1)</sup> Geologische Bundesanstalt, Neulinggasse 38, 1030 Wien. arben.kociu@geologie.ac.at

## Seine Grundsteinlegung für nachfolgende Generationen

Mit all diesen und vielen weiteren Arbeiten hatte Gerhard Schäffer maßgeblich jene zukunftsträchtigen Grundsteine gelegt, die uns – den seit seiner Pensionierung im Jahr 1999 nachfolgenden Kolleginnen und Kollegen der Fachabteilung für Ingenieurgeologie der Geologischen Bundesanstalt – den Übergang in das digitale Zeitalter erleichtert hatten.

So basieren beispielsweise viele der heute im Datenmanagementsystem GEORIOS (Georisiken Oesterreich, HEIM et al., 2003) angewendeten Systematiken und Klassifikationen auf seinen Arbeiten und Erkenntnissen. Diese wurden selbstverständlich in den letzten Jahren, insbesondere aufgrund neuer digitaler Informationsquellen und Auswertungsmethoden (z.B. Auswertung von Satelliten- und LiDAR-Daten), neuer Zielsetzungen und Fragestellungen und eines erforderlichen Datenqualitätsmanagements, adaptiert und erweitert.

#### Literatur

- HEIM, N., KAUTZ, H., KOÇIU, A. & SCHÄFFER, G. (2003): Documentation of geogen natural hazards at the Geological Survey of Austria. Begleitband zur Tagung Erde Mensch Kultur Umwelt. In: WEIDINGER, J.T., LOBITZER, H. & SPITZBART, I. (Hrsg.): Beiträge zur Geologie des Salzkammerguts. Gmundner Geo-Studien, 2, 409–414, Gmunden.
- SCHÄFFER, G. (1971a): Die Hallstädter Triasentwicklung um den Plassen (OÖ). Dissertation Universität Wien, 198 S., Wien.
- SCHÄFFER, G. (1971b): Kartierung um den Plassen. OMV-Exploration/Archiv, 4 S., 3 Beil., Wien.
- SCHÄFFER, G. (1976): Einführung zur Geologischen Karte der Republik Österreich: Blatt 96, Bad Ischl. – In: GATTINGER, T.E.: Tagungsband der Arbeitstagung der Geologischen Bundesanstalt, Blatt 96 Bad Ischl, Salzkammergut, 26. bis 30. Mai 1976, 6–26, Wien.
- SCHÄFFER, G. (1978): Bericht 1977 über Untersuchungen an Massenbewegungen auf Blatt 96, Bad Ischl. – Verhandlungen der Geologischen Bundesanstalt, **1978**, 87–88, Wien.
- SCHÄFFER, G. (1979): Geologische Skizze (Manuskriptkarte) der Großen Abrutschung Hallstadt, O.Ö. 1:500. – Geologische Bundesanstalt, Wien.
- SCHÄFFER, G. (1980): Bodengasanalysen Jahresendbericht 1979: "GTP" 79 Teil 2. – 26 S., Geologische Bundesanstalt, Wien.
- SCHÄFFER, G. (1983a): Die aktuelle Massenbewegung Stambach-Zwerchwand/Bad Goisern. – In: GATTINGER, T.E.: Tagungsband der Arbeitstagung der Geologischen Bundesanstalt in Gmunden, Salzkammergut, 26. bis 30. September 1983, 28–29, Gmunden.

- SCHÄFFER, G. (1983b): Geotechnische Karte von Zwerchwand bis Bad Goisern 1:10.000. – Geologische Bundesanstalt, Wien.
- SCHÄFFER, G. (1983c): Geotechnische Karte von Stambach, Bad Goisern 1:5.000. – Geologische Bundesanstalt, Wien.
- SCHÄFFER, G. (1983d): Geotechnische Karte von Stambach, Bad Goisern 1:2.000. – Geologische Bundesanstalt, Wien.
- SCHÄFFER, G. (1983e): Karte des Zeitablaufs der Massenumlagerungen des Gebietes Zwerchwand–Stambach, Bad Goisern 1:5.000. – Geologische Bundesanstalt, Wien.
- SCHÄFFER, G. (1983f): Massenbewegung Gschlief südöstlich von Ebensee. – In: GATTINGER, T.E.: Tagungsband der Arbeitstagung der Geologischen Bundesanstalt in Gmunden, Salzkammergut, 26. bis 30. September 1983, 51–52, Gmunden.
- SCHÄFFER, G. (1983g): Massenbewegung des Gschliefgrabens und Umgebung. – In: GATTINGER, T.E.: Tagungsband der Arbeitstagung der Geologischen Bundesanstalt in Gmunden, Salzkammergut, 26. bis 30. September 1983, 37–41, Gmunden.
- SCHÄFFER, G. (1983h): Manuskriptkarte der Geologisch-Geotechnischen Risikofaktoren der Republik Österreich 1:50.000, Blatt 66 Gmunden. – Geologische Bundesanstalt, Wien.
- SCHÄFFER, G. (1983i): Die Karte der geologisch-geotechnischen Risikofaktoren der Republik Österreich 1:50.000 anhand des Beispiels von Blatt 66 Gmunden. – In: GATTINGER, T.E.: Tagungsband der Arbeitstagung der Geologischen Bundesanstalt in Gmunden, Salzkammergut, 26. bis 30. September 1983, 6–15, Gmunden.
- SCHÄFFER, G. (1983j): Manuskriptkarte der Geologisch-Geotechnischen Risikofaktoren der Republik Österreich 1:50.000, Blatt 96 Bad Ischl. – Geologische Bundesanstalt, Wien.
- SCHÄFFER, G. (1983k): Manuskriptkarte der geotechnischen Karte von Oberösterreich 1:200.000. – Geologische Bundesanstalt, Wien.
- SCHÄFFER, G. (1983I): Die Manuskriptkarte der geotechnischen Karte von Oberösterreich 1:200.000. – In: GATTINGER, T.E.: Tagungsband der Arbeitstagung der Geologischen Bundesanstalt in Gmunden, Salzkammergut, 26. bis 30. September 1983, 5–6, Gmunden.
- SCHÄFFER, G. (1985): Strukturanalyse der Flyschzone und Umrahmung Blatt 67 Grünau im Almtal. – GBA-Bericht, 6 S., Geologische Bundesanstalt, Wien.
- SCHÄFFER, G. & STEIGER, T. (1986): Der Jura zwischen Salzburg und Bad Aussee: Exkursionsführer zur Jahrestagung der Subkommission für Jura-Stratigraphie 1986 – Stratigraphie und Gleitmassen in Tiefwassersedimenten der Nördlichen Kalkalpen. – 67 S., München.

# Geologische Profilschnitte durch das Salzkammergut – vom Traunstein zum Dachstein (Ostalpen, Österreich)

GERHARD W. MANDL (1)

Als Übersicht zur Geologie des Tagungsgebietes wird eine Zusammenstellung von Profilschnitten präsentiert, die hier aus Platzgründen allerdings in vereinfachter Darstellung gezeigt werden müssen (Abb. 1). In MANDL (2017) werden drei Gebietsausschnitte detaillierter dargestellt.

Gegenüber den bisherigen Gepflogenheiten ist die Nomenklatur der kalkalpinen Deckensysteme und deren Untergliederung in Decken (z.B. TOLLMANN, 1985: 115ff., 175ff.) im Sinne des Neuvorschlages von MANDL et al. (2017) verändert.

Während im Dachsteingebiet die Profilschnitte aus den Erläuterungen Bad Ischl und Schladming verbunden werden konnten, ist dies zwischen den Blättern Gmunden und Bad Ischl nicht direkt möglich. Die von SCHÄFFER (1983a) schon dargestellte, +/- westvergente überschlagene, jurassisch angelegte Großfaltenstruktur am Erlakogel wurde seither nie näher untersucht. Ein kinematischer Zusammenhang mit der südlich davon verzeichneten "Haslergupf-Deckscholle" ist zu vermuten. Dort ist oberrhätischer Dachsteinkalk an der mergeligen Kössen-Formation aus der Schichtfolge ausgeschert und ebenfalls gegen Westen über Allgäu-Formation und Radiolarit verschoben. Im Grenzbereich der Blätter 66 Gmunden und 96 Bad Ischl liegt eine weitere, von Schäffer unter den Talfüllungen vermutete Bewegungsfläche (EGGER, 1996) an der Basis des Sulzkogelmassivs (Kote 1.539 m) vor, deren Fortsetzung am Kartenblatt Bad Ischl von SCHÄFFER (1982) als jurassische Gleitfläche ausgewiesen wurde. Zum Verständnis der Kinematik all dieser lokalen Strukturen fehlt leider eine moderne Kartierung der Nordwest-Ecke des angrenzenden Blattes 97 Bad Mitterndorf. Hier harrt ein wohl lohnendes Forschungsthema einer geologischen Neuaufnahme und einer strukturgeologischen Bearbeitung.

#### Literatur

- EGGER, H. (1996): Geologische Karte der Republik Österreich 1:50.000, Blatt 66 Gmunden. – Geologische Bundesanstalt, Wien.
- KOLLMANN, K. (1977): Die Öl- und Gasexploration der Molassezone Oberösterreichs und Salzburgs aus regional-geologischer Sicht. – Erdöl-Erdgas-Zeitschrift, **93** (Sonderausgabe), 36–49, Hamburg–Wien.
- MANDL, G.W. (2017): Vom Traunstein zum Dachstein Geologie im Querschnitt. – Tagungsband zur Arbeitstagung der Geologischen Bundesanstalt 2017, 22–28, Wien.
- MANDL, G.W., HUSEN VAN, D. & LOBITZER, H. (2012): Erläuterungen zur Geologischen Karte der Republik Österreich 1:50.000, Blatt 96 Bad Ischl. – 215 S., Geologische Bundesanstalt, Wien.
- MANDL, G.W., HEJL, E. & HUSEN VAN, D. (2014): Erläuterungen zur Geologischen Karte der Republik Österreich 1:50.000, Blatt 127 Schladming. – 191 S., Geologische Bundesanstalt, Wien.
- MANDL, G.W., BRANDTNER, R. & GRUBER, A. (2017): Zur Abgrenzung und Definition der Kalkalpinen Deckensysteme (Ostalpen, Österreich). – Tagungsband zur Arbeitstagung der Geologischen Bundesanstalt 2017, 254–255, Wien.
- PREY, S. (1983): Das Ultrahelvetikum-Fenster des Gschliefgrabens südöstlich von Gmunden (Oberösterreich). – Jahrbuch der Geologischen Bundesanstalt, **126**, 95–127, Wien.
- SCHÄFFER, G. (1982): Geologische Karte der Republik Österreich 1:50.000, Blatt 96 Bad Ischl. – Geologische Bundesanstalt, Wien.
- SCHÄFFER, G. (1983a): Exkursion 11.3e) Blick auf Erlakogel (Großfalte). – In: DAURER, A. & SCHÄFFER, G. (Red.): Arbeitstagung der Geologischen Bundesanstalt 1983, Gmunden, 51, Abb. 47, Geologische Bundesanstalt, Wien.
- SCHÄFFER, G. (1983b): Übersichtsprofile durch das Blatt 66 Gmunden. – In: DAURER, A. & SCHÄFFER, G. (Red.): Arbeitstagung der Geologischen Bundesanstalt 1983, Gmunden, Abb. 54, Geologische Bundesanstalt, Wien.
- TOLLMANN, A. (1985): Geologie von Österreich, Band II: Außerzentralalpiner Anteil. – XIII + 710 S., Wien (Deuticke).

Abb. 1. (rechts)

Geologische Querschnitte vom Traunstein zum Dachstein. Zusammenstellung von Gerhard W. Mandl unter Verwendung von KOLLMANN (1977: Abb. 4, 5), MANDL et al. (2012: Tafel 2; 2014: Tafel 4), PREY (1983: Abb. 3), SCHÄFFER (1983b: Abb. 54) und TOLLMANN (1985: Abb. 93), etwas verändert.

(1) Geologische Bundesanstalt, Neulinggasse 38, 1030 Wien. gerhard.mandl@geologie.ac.at



## Erstellung eines Ereignis- und Schadenskatasters auf Basis der Chroniken der Polizei Salzburg

SANDRA MELZNER (1) & RAINER BRAUNSTINGL (2)

#### Einleitung

Viele Siedlungsräume in den Ostalpen sind historisch entstanden und befinden sich daher in potenziellen Gefahrenbereichen unterschiedlichster Naturprozesse. Für eine Abschätzung möglicher zukünftiger Gefahren und Schäden im Rahmen von detaillierten Risikoanalysen sind in Ergänzung zu Angaben über aktuelle Prozessereignisse auch detaillierte Informationen über vergangene Prozesse essenziell (MELZNER & GUZZETTI, 2014; MELZ-NER, 2017). Hierbei kommen Informationen zu den Ereignisorten (Prozessraum, Schadensraum), zum Ereignisdatum, zur Magnitude und zu den Sachund Personenschäden besondere Bedeutung zu. Erfahrungen aus vorherigen Projekten der Geologischen Bundesanstalt (GBA) haben gezeigt, dass in der Chronik der Gendarmerie bzw. Polizeichronik häufig sehr genaue und teilweise sehr alte Informationen zu Katastrophen- und Schadensereignissen durch Naturprozesse (Rutschung,

Steinschlag, Mure, Hochwasser, Erdbeben etc.) enthalten sind. Aus diesem Grund wurde seitens des Geologischen Dienstes des Amtes der Salzburger Landesregierung und der FA Ingenieurgeologie der GBA der Auftrag für eine Recherche von Katastrophen- und Schadensereignissen für ein Testgebiet im Bundesland Salzburg erteilt.

#### Recherchetätigkeit

Für das Projekt wurde ein Gebiet ausgewählt, welches heterogene geologische, geomorphologische, klimatische Gebietseigenschaften und Siedlungsstruktur aufweist, damit eine möglichst große Spannbreite an Prozessen und resultierenden Gefahren abgedeckt wird. Die Einsichtnahme der Chroniken in den zuständigen Polizeiinspektionen erfolgte im Rahmen zweier Kampagnen, damit die Möglichkeit einer Anpassung der Bearbeitungsstrategie auf Basis erster Ergebnisse gegeben war. Die Chronik der Gendarmerie bzw.



Abb. 1. Auszug aus der Chronik der Gendarmerie. Besonders ältere Einträge sind aufgrund der Kurrentschrift bzw. wegen der Handschrift schwer zu lesen.

 $(1) \ {\it Geologische Bundesanstalt, Neulinggasse 38, 1030 \ Wien. \ sandra.melzner@geologie.ac.at}$ 

(2) Amt der Salzburger Landesregierung, Abteilung 6, Landesgeologischer Dienst, Michael-Pacher-Straße 36, 5020 Salzburg.

Polizei besteht aus analog geführten Büchern (Abb. 1), deren älteste Einträge oftmals bis zur Gründung der Gendarmerie im Jahr 1849 zurückreichen. Je nachdem, wie genau die Ereignisbeschreibung hinsichtlich der geografischen Lage ist, konnten die Informationen sehr genau oder eher vage im Geographischen Informationssystem (GIS) verortet werden. Nach der Durchsicht aller Informationen wurden hinsichtlich der Genauigkeit der geografischen Information vier Klassen definiert. Dies ist im Hinblick einer Verwendung der Daten für möglicherweise anschließende Gefahren- und Risikoanalysen von großer Bedeutung, da beispielsweise für die Validierung von Steinschlag-Reichweitensimulationen sehr genaue Verortungen erforderlich sind.

#### Ergebnisse

Die recherchierten Informationen konnten in fünf Ereignis-/Prozessgruppen (gravitative Massenbewegungen, seismische Prozesse, fluviatile Prozesse, Schneeprozesse, meteorologische Prozesse) und zwölf Prozesstypen (Steinschlag, Felssturz, Rutschung, Hangmure, Erdbeben, Mure, Hochwasser, Überschwemmung, Vermurung, Lawine, Sturm, Meteorologisch allgemein) zugeordnet werden. Die Naturereignisse hatten zumeist einen Sach- oder Personenschaden zur Folge: die meisten Naturereignisse resultierten in Sachschäden, 71 Ereignisse forderten jedoch auch Todesopfer oder Verletzte (Anzahl 100). Bei 62 Ereigniseinträgen war keine Information über Sach- oder Personenschäden enthalten bzw. bei 17 Ereignissen wurde expliziert vermerkt, dass durch das Ereignis kein Personen- oder Sachschaden entstanden ist.

#### Fazit

Die Polizeiarchive bieten eine gute Möglichkeit, relativ zeit-und kosteneffektiv Daten zu Schadensereignissen zu erhalten und somit eine flächendeckende Aussage über die räumliche und zeitliche Variabilität der dokumentierten schadensbringenden Ereignisse treffen zu können. Die Anzahl und Art der recherchierten Ereignisse spiegelt nicht allumfassend die naturgegebene Anfälligkeit des jeweiligen Untersuchungsgebietes gegenüber unterschiedlicher Naturgefahren wider. Vielmehr ist es eine Zusammenschau jener Ereignisse, die viel Leid gebracht haben und deswegen dokumentiert wurden. Für Österreich wurde somit erstmals für ein größeres Gebiet ein Kataster erstellt, der flächendeckend das Risiko gegenüber unterschiedlicher Naturgefahren in den letzten 150 Jahren darstellt.

#### Dank

Frau Amtsdirektorin Karin Temel, Herrn Michael Rauch (Landespolizeidirektion Salzburg), Frau Ilse Draxler (GBA) und den Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern der diversen Polizeiinspektionen sei herzlich für die kompetente und freundliche Unterstützung bei den Recherchetätigkeiten gedankt.

#### Literatur

- MELZNER, S. (2017): Challenges in rock fall hazard zoning in Austria. – Extended abstract, 6<sup>th</sup> Interdisciplinary Workshop on Rockfall Protection, May 22–24, 2017, 96–99, Barcelona, Spain.
- MELZNER, S. & GUZZETTI, F. (2014): A comparison of rock fall inventories in Austria and Italy. – Geophysical Research Abstracts, **16**, EGU2014-5072-a, Wien.

## GBA-Generallegende für Quartär und Massenbewegung

MARKUS PALZER-KHOMENKO (1), MATHIAS BICHLER (1), HORST HEGER (1) & ISABELLA BAYER (1)

In der Vergangenheit lag die Entscheidung über die Verwendung und Schreibweise von Legendeneinträgen für Druckwerke der Geologischen Bundesanstalt (GBA) bei den verantwortlichen Autoren sowie den Kartenredakteuren. Das Fehlen von Vorgaben bezüglich der zu verwendenden Begrifflichkeiten sowie der formalen Schreibweise führten zu einem (von den jeweiligen Autoren unverschuldeten) Wildwuchs an Begriffen. Besonders auffallend und problematisch ist dies bei quartären Legendeneinträgen, welche landesweit einheitlich sein sollten. Zieht man nur Legendentexte des Themas Quartär in Betracht, findet man in den unterschiedlichen Legenden aller Druckwerke und Datensätze der Landesaufnahme der GBA 3.002 unterschiedlich geschriebene Einträge (Stand: 27.02.2017). Zieht man weitere Informationen wie etwa Alter, Alternativtexte oder Lithologie hinzu, kommt man auf 7.353 unterschiedliche Legendeneinträge. Die Erstellung landesweit vergleichbarer und homogener Datensätze ist unter diesen Vorzeichen nicht möglich.

Um dieser Entwicklung entgegenzutreten, wurden mehrere Listen von zu verwendenden Begrifflichkeiten für das Quartär und die Geomorphologie erstellt und an zentraler Stelle innerhalb des GBA-Systems gespeichert:

- Lithogenetische Einheiten
- Geomorphologische Einheiten
- Phänomene

Weitere, bereits vorhandene Listen, wie etwa Chronostratigrafie oder Lithologie, wurden um einige Begriffe erweitert. Diese Begriffskataloge sind bei BICHLER et al. (2017) näher beschrieben.

Aufbauend auf diesen vorgegebenen, redaktionell geprüften Listen wurde eine Datenbankstruktur für eine GBA-Generallegende Quartär erstellt und befüllt. Diese Struktur, bestehend aus zwei Tabellen und mehreren Abfragen, erlaubt es, mehrere Begriffe der Begriffskataloge zu vorgefertigten Legendeneinträgen zu kombinieren. In der Regel wird ein lithogenetischer Begriff mit einem bis zwei chronologischen Begriffen und einem oder mehreren lithologischen Begriffen, oder ein geomorphologischer Begriff mit einem bis zwei chronologischen Begriffen kombiniert. Im Folgenden sind zwei Beispiele gezeigt:

<Bach- oder Flussablagerung> + <Pleistozän> + <Holozän> + <Silt> + <Sand> + <Kies>





<End- und Seitenmoränenwall, Würm-Spätglazial, Holozän>

Zusätzlich wird jeder Generallegenden-Eintrag mit einer Reihe von Attributen belegt: Thema (Quartär, Geomorphologie...), Art der Darstellung in den einzelnen Maßstäben (Punkt/Linie/Polygon), Symbolisierungen, Legenden-Sortierung, Kartierernotiz (Gebrauchsanweisung für den Anwender). Aufgrund der Verknüpfung mit den Zentralen Listen sind auch alle dort vorhandenen Informationen sowie weiterführende Verknüpfungen abrufbar. Beispielsweise lässt sich für jeden Teil eines Legendeneintrages eine Definition abrufen.

Bei der Erstellung von geologischen Karten (sowohl analog als auch digital) kann demzufolge nur noch aus einer vorgefertigten Liste gewählt werden. Auf diesem Weg werden die Verwendung unterschiedlicher Konzepte sowie unterschiedliche Schreibweisen vorgebeugt und eine einheitliche, landesweite Nomenklatur erreicht. Alte Legendentexte können mit Begriffen der neuen Generallegende Quartär verknüpft und damit auch homogenisiert werden.

(1) Geologische Bundesanstalt, Neulinggasse 38, 1030 Wien. markus.palzer@gmx.at

#### Die Generallegende Quartär bietet zahlreiche Vorteile:

- Einfache Anwendung: In vorgefertigten GIS-Templates muss zum Erstellen eines Features (Punkt/Linie/Polygon) lediglich der passende Eintrag ausgewählt werden. Alles Weitere (z.B. Symbolisierung, Definition) ist im System hinterlegt.
- Verwaltung von Begriffen: Jede Änderung im zentralen System wird automatisch in alle Legendeneinträge und verknüpften Datensätze übernommen.
- Verknüpfte Informationen: Verknüpfte Informationen, wie etwa hierarchisch übergeordnete Begriffe, werden in den geologischen Datensätzen abfragbar. Beispielsweise kann aus jedem geologischen Datensatz, der die Generallegende verwendet, eine Alterskarte nach Stufe, Serie, System oder Ärathem abgeleitet werden. Ähnliches gilt auch für lithologische Karten.

#### Literatur

BICHLER, M., REITNER, J., LOTTER, M., SCHOBER, A. & PALZER-KHOMENKO, M. (2017): Eine gleiche Terminologie im Quartär und bei Massenbewegungen. – Tagungsband zur Arbeitstagung der Geologischen Bundesanstalt 2017, 56–61, Wien.

- Einheitliche Legenden: Gedruckte Karten, die mithilfe dieses Systems erstellt werden, weisen eine über Blattgrenzen hinweg einheitliche Quartärlegende auf und sind damit besser vergleichbar.
- Einheitliche Darstellung: Die Symbolisierung (Darstellung) der erzeugten Karten kann an zentraler Stelle gesteuert werden und ist über alle Karten und Datensätze hinweg einheitlich.
- Vollständige Definition: Zu jedem Teilbegriff, der in einem Generallegendeneintrag verwendet wird, existiert ein durchdachter Definitionsvorschlag der GBA sowie eine Quellenangabe.

## Die Zusammenarbeit der Geologischen Bundesanstalt mit dem Amt der Oberösterreichischen Landesregierung am Beispiel der geologischen Landesdokumentation GeoloGIS

Heinz Reitner (1), Piotr Lipiarski (1), Michael Moser (1), Christian Rupp (1), August Neumüller (2), Christoph Kolmer (2), Herbert Hujber (2), Melissa Bakic (3), Katharina Böhm (3), Susanne Theresa Egger (3), Sebastian Gfellner (3), Wolfgang Knierzinger (3), Martin Lindner (3), Philipp Lipiarski (3), Lukas Mair (3), Alexander Michlits (3), Gerald Schubert-Hlavač (3) & Daniela Strick (3)

## Die geologische Landesdokumentation GeoloGIS

"Das Land Oberösterreich betreibt eine systematische Erfassung geologisch relevanter Daten im Rahmen der geologischen Landesdokumentation. Diese umfasst neben der Betreuung eines geologischen Kartenwerkes vor allem die Sammlung von Bohr- und Aufschlussdaten im Landesgebiet. Weiters werden hydrogeologisch/wasserwirtschaftlich relevante Projekte und Studien mit regionalem Bezug in einer eigenen Datenbank verwaltet. Ziel dieser Datensammlung soll neben einer fachlichen Basis für den Sachverständigendienst und der Schaffung von Grundlagen für wasserwirtschaftliche Planungsfragen vor allem die Hilfestellung für Planungsträger im Land sein. Die Daten werden somit im Rahmen der rechtlichen Bestimmungen jedem zur Verfügung gestellt." (OBERÖS-TERREICHISCHE AKADEMIE FÜR UMWELT UND NATUR, 2006: 292–293).

#### Die Zusammenarbeit der Geologischen Bundesanstalt mit dem Amt der Oberösterreichischen Landesregierung

Im Rahmen einer Projektreihe wurde die Geologische Bundesanstalt (GBA) mit der Erweiterung und Adaptierung der Bohr- und Aufschlussdatenbank sowie des geologischen Kartenwerkes betreut.

Die Aufgaben für die Bohr- und Aufschlussdatenbank umfassen Arbeiten zur Datenbankentwicklung im Hinblick auf die Erweiterung der Funktionalität, umfassende Maßnahmen zur Qualitätssicherung der Daten sowie den Aufbau eines Scan-Archivs mit Hilfe der Digitalisierung von relevanten Unterlagen zu Bohrungen bzw. Aufschlüssen. Vom Amt der Oberösterreichischen Landesregierung neu gesammelte Bohr- und Aufschlussdaten werden laufend als konsistenter Datenbestand in die Datenbank eingepflegt.

Das geologische Kartenwerk wird als kompilierte Arbeitskarte ebenfalls in digitaler Form vorgehalten. Die als Grundlagen in Verwendung stehenden geologischen Karten werden einer Aktualisierung bzw. Prüfung unterzogen. Im Rahmen der Aktualisierung wurden die verfügbaren Geologischen Karten 1:50.000 der GBA mit aufgenommen. Zusätzlich wird das GEOFAST-GIS-Datenbanksystem der GBA herangezogen werden. In der GEOFAST-Kartenerstellung werden detaillierte morphologische Informationen eingearbeitet, die aus dem vom Land Oberösterreich zur Verfügung gestellten digitalen Geländemodell, das mit flugzeuggetragenem Laserscanning (Airborne Laserscanning, ALS) erfasst wurde, abgeleitet werden können.

Die Bohr- und Aufschlussdatenbank und das geologische Kartenwerk, beide werden vom Amt der Oberösterreichischen Landesregierung im Rahmen des Web-Services DORIS InterMap – Wasser & Geologie (*https://www.doris.at/themen/ umwelt/wasser.aspx*) digital bereitgestellt, dienen an der Geologischen Bundesanstalt als wertvolle Grundlage für die Bearbeitung zahlreicher wissenschaftlicher Fragestellungen.

#### Literatur

OBERÖSTERREICHISCHE AKADEMIE FÜR UMWELT UND NATUR (Red.) (2006): Oö. Umweltbericht 2006. – 302 S., Linz.

(1) Geologische Bundesanstalt, Neulinggasse 38, 1030 Wien. heinz.reitner@geologie.ac.at

(2) Amt der Oberösterreichischen Landesregierung, Direktion Umwelt und Wasserwirtschaft,

Kärntnerstraße 10–12, 4021 Linz.

<sup>(3)</sup> Freie Dienstnehmerinnen und freie Dienstnehmer.

### Entwicklung des geoelektrischen Messsystems der GBA

Alexander Römer (1), Robert Supper (1), Gerhard Kreuzer (2), Birgit Jochum (1), David Ottowitz (1) & Stefan Pfeiler (1)

Im Jahr 2001 wurde ein von der Geologischen Bundesanstalt (GBA) entwickelter Prototyp eines geoelektrischen Monitoringsystems (Abb. 1) in Sibratsgfäll (Vorarlberg) aufgebaut.

Die in den folgenden Jahren gewonnenen gerätetechnischen Erkenntnisse flossen in die Weiterentwicklung des Gerätes, welches ab diesem Entwicklungsstadium auch für den mobilen Einsatz ausgerichtet war. Zum damaligen Zeitpunkt waren entscheidende Vorteile gegenüber kommerziellen Messgeräten einerseits die wesentlich höhere Geschwindigkeit der Datenakquisition, andererseits die Aufzeichnung des gesamten Messsignals jedes einzelnen Messpunktes, welche eine umfangreiche Datenqualitätskontrolle erlaubt.

Aufgrund mehrerer Forschungsprojekte im The-

menbereich "Hangrutschungsmonitoring" wurde das für den Feldeinsatz bestimmte Messgerät zum autonomen Monitoringgerät GEOMON4D weiterentwickelt, welches via Fernwartung gesteuert werden kann. Im Zuge dessen musste auch eine Lösung für die Energieversorgung in abgelegenen Gebieten gefunden werden, die aus einer Kombination von Brennstoffzelle und Solarzellen besteht (Abb. 2).

Ab 2009 wurden mehrere Lokationen (Hangrutschungen, Permafrost) mit dem Monitoringsystem bestückt. Die damit einhergehende enorme Datenmenge machte wesentliche Fortschritte bei der Datenauswertung (Qualitätskontrolle, Filterung, Inversion) notwendig. Durch eine neu entwickelte Auswertemethode (4D-Inversi-

Abb. 1. Prototyp des geoelektrischen Monitoringsystems.

Abb. 2. Monitoringsystem GEOMON4D.



(1) Geologische Bundesanstalt, Neulinggasse 38, 1030 Wien. *alexander.roemer@geologie.ac.at* (2) Liftoff, Karlsgasse 6, 3001 Tulbingerkogel



on) von Jung-Ho Kim (Korea Institute of Geoscience and Mineral Resources, KIGAM, in Kooperation mit der GBA) wurde die Möglichkeit geschaffen, detaillierte Analysen der zeitlichen Änderungen des spezifischen elektrischen Widerstandes des Untergrundes über lange Zeiträume durchzuführen. Erst diese Auswertemethode macht eine umfangreiche Interpretation der geoelektrischen Monitoringdaten hinsichtlich zeitlich abhängiger hydrologischer Prozesse möglich (Abb. 3).

Ein Überblick über alle installierten Monitoringstationen ist im Abstract "Das internationale Geomonitoringnetzwerk der GBA" (OTTOWITZ et al., 2017) angeführt.

Abb. 4. Zentraler GEOMON4D-IP Bauteil.



Abb. 3.

Beispiel einer Differenzendarstellung (zeitliche Änderung des spezifischen elektrischen Widerstandes) der 4D-Inversion, welche die Abnahme des Widerstandes in bestimmten Untergrundbereichen im Zuge eines starken Niederschlagsereignisses zeigt, das zu einer signifikanten Bewegung des Hanges führt.

Seit 2015 wird an einem neuen Messgerät (GEOMON4D-IP: Abb. 4) gearbeitet, welches große Teile des vorhandenen Gerätes ersetzt und auf die Messmethode der Induzierten Polarisation ausgeweitet wird. Entscheidende Vorteile bieten sowohl die verringerte Gerätegröße, als auch der deutlich reduzierte Energieverbrauch.

#### Literatur

OTTOWITZ, D., JOCHUM, B., SUPPER, R., PFEILER, S., GRUBER, S., BAROŇ, I. & ITA, A. (2017): Das internationale Geomonitoringnetzwerk der GBA. – Tagungsband zur Arbeitstagung der Geologischen Bundesanstalt 2017, 229–230, Wien.

# Innovative laser device for capturing cross sections in dry and underwater caves

#### Introduction

The Ox Bel Ha Karst conduit system is located at the south-east coast of the Yucatán peninsula in the region of Tulum, México (Text-Fig. 1). In the subsurface, and below the city, the whole area is nerved by a wide and complex network of underwater caves and conduits developed in nearly horizontal layered limestone. The uppermost layer of the karst aquifer represents practically the only fresh water resource of the region. Below the freshwater layer there is saltwater intruding from the sea and reaching deep regions. The freshwater is endangered by rapid urban development and partially inappropriate wastewater management. Within this context, sustainable water management as well as protection of the reef and the nearby Sian Ka'an biosphere reserve require better understanding of the water re-source and its potential (GONDWE, 2010). To achieve this, collaborations of local NGOs, exploration divers, different universities and the Geological Survey

Text-Fig. 1. Testing site. Top Left, right: Location of study area.

Bottom: Part of Ox Bel Ha cave system with cenotes Cristal, Maya Blue and Jailhouse.



ARNULF SCHILLER (1) & STEFAN PFEILER (1)

of Austria are in progress since 2006 with the objective to acquire crucial input data for hydrologic modelling by means of standard and innovative measurement methods (VUILLEUMIER, 2011; SCHILLER et al., 2012). The method presented herein addresses a new time-saving acquisition method for geometric data of karst conduits.

#### **Basic Principle**

The technique is derived from similar laser scanning methods as applied for measuring tasks in industrial processes (e.g. KANNALA et al., 2008; MATSUI et al., 2009), and adapted to the special measurement conditions in underwater caves. The device (Text-Figs. 2, 6) consists in principle of a) a camera and b) a laser head projecting a laser line over the whole perimeter of a tunnel. Both main components of the device are connected through a rigid bar (made of aluminium) preserving a defined geometry of the system. The projected laser line can be interpreted as consisting of a large number of laser points. Corresponding laser rays are gathered in a plane, designated here as laser plane.

The system consisting of *camera*, *optical axis of imaging system*, *laser ray*, *point of the projected laser line on the tunnel wall* forms a rectangular triangle with 90° between the optical axis and a




laser ray as shown in Text-Figure 2. The separation between camera and laser plane is fixed by design and represents the base line **B**. The crossing point of the optical axis through the laser plain is here defined as the centre of the laser plane coordinate system with *z* upwards and *x* pointing to the right (Text-Fig. 3). *Phi* is the angle between the optical axis and the line of sight to the specific point of the laser line on the tunnel wall as seen from the position of the camera. The length **B** of the base line is defined by design. With this it is possible to calculate the distance **D** of the specific point of the line on the wall from the centre of the laser plane. *Phi* is measured by means of the camera since every angle in the real world system maps to a certain pixel distance in the image. Since the optical distortion of the imaging system is axial-symmetric referred to the optical axis, the mapping function is axial-symmetric as well. That means that the basic parameter for obtaining the real distance **D** of the laser point from the laser plane centre is the pixel distance **p**.

This calculation can be done for every point along the imaged laser line. The real distance can then be split into **z** and **x** components in the laser plane system taking into account the angle **psi** between **z** axis and laser ray from the centre of the laser plane to a specific point of the laser line (Text-Fig. 3). This angle is mapped directly to the image without distortion if axial symmetry of the optical system is maintained. Herewith the problem is comfortably solved in the ideal case.

Text-Fig. 3. Coordinate system definitions in laser plane.



### Calibration

The real case emerges more complex: Geometric errors in the instruments design introduce non-axial- symmetric behaviour of the mapping function. The effective length of the base line depends on the lens system. The angular distortion is additionally affected by light refraction at the water/dome/air- interfaces when light passes from the water into the waterproof casing. All these combined effects can be addressed by a simple calibration procedure in which a scale bar or scale tape is placed into the laser plane (lasers off) and imaged. The image of this scale under measurement conditions gives directly the over-all mapping function by relating the pixel distance to distance-marks on the imaged scale (Text-Fig. 4). The computational realisation of this mapping is a simple and fast look-up table operation.



Text-Fig. 4. Principle of calibration procedure. Top: Scale in Cenote. Bottom: derived mapping functions (for two geometries).

### Positioning

In the test survey the cross sections positions are related to the ,stick line'. The stick line represents a tunnel's geometry as a series of connected straight lines, similar to sticks (Text-Fig. 5). In reality it is a cord, attached by exploration divers in the cave onto rocks and other suitable features at the tunnel wall. The stick line is then measured with compass, depth meter and scale tape in dead reckoning technique. The normal offset of a laser scanned cross section to the stick line is visually well defined by the intersection of the laser plane with the cord as indicated by a bright dot where the line laser hits the cord. After mapping, this gives the in-plane offset of the laser planes coordinate system relative to the stick line. The position along the line is defined by equally spaced intervals of one to three metres. The diver is instructed to keep the spacing constant.



Text-Fig. 5. (up) Top: Two cross section shots. Bottom: mapped cross sections connected to stick line data.

### Processing

First processing step is digitising the imaged laser line of each cross section shot. This can be accomplished automatically by standard image processing techniques (FISHER & NAIDU, 1991). However, manual editing gives the opportunity of interpreting gaps in the laser line (shadows obstacles or side tunnels or light absorbed due to large distances (Text-Figs. 5, 6). Second step is transforming the data from pixel coordinates to real world coordinates. In principle, this is done with a look-up table as soon as the mapping function is known from calibration. Third processing step is the compilation of successive cross sections to any 3D representation of a scanned tunnel by incorporating attitude and position information as acquired by an attitude sensor (Text-Fig. 6).

### **Field tests**

A first prototype was designed and prepared for a field test in Tulum in March 2013. Since then the instrument was advanced till latest operation in April 2017 in Tulum. The tunnels scanned are located in the Ox Bel Ha system and accessible through Cenotes (Maya Blue, Cristal, Tercier Cielo, Jailhouse). Line lasers are installed with batteries into an underwater casing. The imaging system consists of a DSLR camera with 4.5 mm circular fisheye lens. At each shot the device was levelled horizontally with the help of inclination indicators in the camera display and adjusted parallel to the stick line deployed by divers. The position along the line was defined by approximately equal separation along a straight leg of the line, marked with clothe pins. In course of the tests and surveys

Text-Fig. 6.

Left top: 2015 device. Bottom: cross section in in jailhouse tunnel. Bottom right: 3D-model of dead zone/ Cenote Maya Blue. Right: size comparison of 3D-models of Cenotes Jailhouse, Cristal and Tercier Cielo.



approximately 800 cross sections have been captured in six tunnels. With an average separation of two meters in mean this gives about 1,600 meters of scanned tunnels producing six 3D-models of karst conduits.

### **Results and Discussion**

The tests showed that the device is light and easily operable underwater. An additional front light is of advantage for the orientation of the diver as well as for interpretation purposes during subsequent image processing (e.g. distinguishing between laser line gaps caused by side tunnels or rock shadows). The red laser was quickly absorbed in the freshwater layer while the blue laser showed good penetration and covered well in the diameter range up to 20 metres. The touchpoint of the laser plane with the stick line for offset correction is usually clearly visible. After digitising and mapping the data was visualised in cross sections combined with stick line data as shown in Text-Figure 5. In-plane accuracy is in cm-range depending on sensitivity of mapping function, stick line accuracy is in centimetre to meter range depending on the length of the stick line survey.

With this device important geometric parameters can be quickly captured in underwater as well as in dry caves. The method gives several thousand perimeter points with one shot, i.e. in 0.2 seconds – so acquisition speed, resolution and information density is presently superior to other methods underwater. Processing is fast, straight forward and well behaving in case of 360° concave structures, whereas stereometric methods face problems. In case of further funding full automatic processing can be achieved on basis of developed algorithms. The data enables high-resolution analysis for quantities such as cross section area, shape and roughness parameters, which represent important data for further statistical analysis, simulation and modelling of karst groundwater systems.

### Acknowledgements

We thank for the great support by Amigos de Sian Ka'an, Robert and Richard Schmittner (Xibalba Diving Center), Bil Phillips (Speleotech), Simon Richards and the Austrian Science Fund who finances the project XIBALBA (1994-N29).

### References

- FISHER, R.B. & NAIDU, D.K. (1991): A comparison of algorithms for subpixel peak detection. – Proceedings of the 1991 British Machine Vision Association Conference (BMVAC 1991), 217–225, Glasgow.
- GONDWE, B.R.N. (2010): Exploration, modelling and management of groundwater-dependent ecosystems in karst – the Sian Ka'an case study, Yucatan, Mexico. – PhD Thesis, Technical University of Denmark, Kongens Lyngby, 86 pp., Lyngby.
- KANNALA, J., BRANDT, S.S. & HEIKKILÄ, J. (2008): Measuring and modelling sewer pipes from video. – Machine Vision and Applications, **19**/2, 73–83, Berlin–Heidelberg.
- MATSUI, K., YAMASHITA, A. & KANEKO, T. (2009): 3-D shape reconstruction of pipe with omni-directional Laser and omni-directional camera. – Proceedings of the 3<sup>rd</sup> International Conference of Asian Society for Precision Engineering and Nanotechnology (ASPEN2009), 1A2-15, 1–5, Tokyo.
- SCHILLER, A., SUPPER, R., VUILLEUMIER, C., OTTOWITZ, D., AHL, A. & MOTSCHKA, K. (2012): Airborne and ground geophysics for modelling a karstic conduit system: New results from the 2007–2011 campaigns in Tulum. Near Surface Geoscience 2012, Remote Sensing Workshop. – Proceedings of the 18<sup>th</sup> European Meeting of Environmental and Engineering Geophysics, Paris.
- VUILLEUMIER, C. (2011): Stochastic modeling of the karstic system of the region of Tulum (Quintana Roo, Mexico). – MSc Thesis, University of Neuchâtel (Switzerland), 37 pp., Neuchâtel.

## Terrestrial Laser Scanning in den Geowissenschaften – Chancen und Herausforderungen

### Einleitung

Das Laserscanning hat sich, ausgehend vom Airborne Bereich, in den letzten zehn Jahren einen festen Platz im terrestrischen Vermessungswesen erarbeitet. Obwohl das zu Grunde liegende technologische und geometrische Prinzip den heute üblichen Tachymetern sehr ähnlich ist, unterscheidet sich die grundsätzliche Aufnahme und Datencharakteristik sehr deutlich von der klassischen Vermessung. Dies eröffnet Anwendungsbereiche in den Geowissenschaften, in denen eine derartig detaillierte geodätische 3D-Datenerfassung bisher nicht oder nur unter großen Umständen möglich war. Die scheinbare Leichtigkeit der Aufnahme kann aber auch dazu führen, dass durch ungenügend geschultes Personal wesentliche geodätische Grundsätze außer Acht gelassen werden, was im schlimmsten Fall zu einer völligen Unbrauchbarkeit der Daten führen kann. Ziel dieser Arbeit ist es anhand einiger Anwendungsbeispiele in den Geowissenschaften die Chancen und Herausforderungen einer TLS Vermessung zu erläutern.

### Theoretische Grundlagen

Der wesentlichste Unterschied des terrestrischen Laserscanners (TLS) zur herkömmlichen Vermessung ist die Tatsache, dass nicht genau angezielte Einzelpunkte, welche die geometrische Struktur des Objektes beschreiben (z.B. Ecken), sondern eine große Anzahl, wahllos auf der Oberfläche verteilter Punkte gemessen werden. Die Genauigkeit der Beschreibung des Objektes ist daher nicht mehr durch seine Repräsentation eines generalisierten Grundkörpers (Polyeder), sondern durch die Punktdichte am Objekt abhängig. Somit lassen sich nahezu beliebig geformte Oberflächen, die nicht durch mathematische Beschreibungen darstellbar sind, abbilden. Für natürliche (Fels-)Oberflächen bietet der Scanner eine ideale Erfassungsmöglichkeit. Die Charakteristik der Punktwolke (Punktverteilung, PunktGREGOR SCHILLER (1) & SANDRA MELZNER (2)

dichte, Aufnahmerichtung, Scanschatten,...) hat einen direkten Einfluss auf die Qualität der daraus abgeleiteten Aussage. Generell gilt, dass die Genauigkeit der Einzelmessung bei der klassischen Vermessung mittels Tachymeter immer besser sein wird als beim Scanner, weil unabhängig von der Gerätespezifikation die Interpretations-/Interpolationsunsicherheit der Punktwolke wegfällt. Dennoch kann die Qualität der Aussage der Laserscannerdaten höher sein. Neben der Punktwolke selbst ist auch das **geodätische Bezugssystem** von großer Bedeutung für die Nutzung der Messergebnisse.

### Planung der TLS Vermessung

In Abhängigkeit von der Zielsetzung, den gebietsspezifischen Eigenschaften (Geologie, Topografie, Vegetationsbedeckung etc.) und den verfügbaren Mitteln (Finanzen, Personal) wird entschieden, ob eine TLS Vermessung sinnvoll ist und in welcher Weise sie durchgeführt werden kann. Folgende Punkte sind u.a. bei der Planung einer TLS Vermessung notwendig: Einrichtung eines übergeordneten Bezugsystems, Wahl der Aufnahmemethodik (statisch, stop and go, kinematisch), Festlegung der Scanparameter (Punktdichte, Sichtachsen), Festlegung der Scanpositionen/Reflektoren, Wahl des Scanners, Planung der Georeferenzierung etc.

### **Chancen und Herausforderungen**

Der Einsatz von TLS in den Geowissenschaften bietet gegenüber der konventionellen Vermessung und/oder geologischen Kartierung viele Möglichkeiten:

- Flächendetaillierte 3D-Informationen ökonomisch (zeit- und kosteneffektiv) erfassbar;
- Generalisierung vor Ort entfällt, daher universelle Auswertemöglichkeiten;
- TLS bietet eine ideale Ergänzung zu den vielerorts verfügbaren Airbornelaserdaten;

<sup>(1)</sup> Vermessung Schmid ZT GmbH, Inkustraße 1–7/3, 3400 Klosterneuburg. *g.schiller@geoserve.co.at* (2) Geologische Bundesanstalt, Neulinggasse 38, 1030 Wien.

- Deformationen der Oberfläche (Volumensverschiebungen) sind mittels Laserscannermessung genauer erfassbar, als durch die Messung diskreter Punkte mittels Tachymeter;
- Gegenüber mobiler- oder airborne-Erfassung (UAV) entfällt bei TLS die Notwendigkeit für ein aufwendiges Inertialsystem (IMU) und entsprechend komplexe Scannerdatenauswertung;
- In bewachsenen Bereichen bietet der Scan in vielen Fällen Vorteile gegenüber anderen Messmethoden, da durch die hohe Punktdichte eine relativ hohe Durchdringungswahrscheinlichkeit besteht. Photogrammetrisch ist dies kaum möglich. Klassisch nur mit hohem Aufwand für Einzelpunkte;
- Für die Vermessung ist ein Aufenthalt im unmittelbaren Zielgebiet nicht zwingend erforderlich (relevant bei akuter Gefährdung, z.B. durch Steinschlag/Felssturz).

Folgende Faktoren sind bei der Verwendung von TLS in den Geowissenschaften zu beachten:

- Die Aufnahmekonfiguration ist in vielen Fällen fehlertheoretisch ungünstig mit sehr entfernten Zielobjekten und relativ nahe gemessenen Bezugspunkten (z.B. bei steilen Talflanken). Eine entsprechend sorgfältige Planung der absoluten und der relativen Georeferenzierung mit der Vernetzung mehrerer Standpunkte und gemeinsamen Bündelblockausgleich ist daher Grundvoraussetzung für einen homogenen Datensatz;
- Die Realisierung eines übergeordneten Bezugssystems erfordert oft zusätzliche Messungen mit anderen Messmethoden (GPS, Tachymeter);
- Die Kalibrierung der Geräte ist entfernungsabhängig. Im Rahmen der Messkampagne ist die Kalibrierung der eingesetzten Scanner daher entsprechend der Aufnahmesituation zu prüfen und gegebenenfalls anzupassen;

- Die Gebietseigenschaften haben einen Einfluss auf die Qualität des Messergebnisses (Feuchteverhältnisse der Oberflächen, Sonneneinstrahlung, Bewuchs, Topologie). Dies kann sogar dazu führen, dass ein Scan der Oberfläche unmöglich wird, da die Reflektivität des Objektes nicht ausreichend ist;
- Beim Scannen werden alle Objekte im Zielgebiet erfasst. Eine nachfolgende Prozessierung inklusive Klassifizierung der Punktwolke in Landnutzungsklassen ist erforderlich. Speziell in Steilwänden sind hier spezielle (z.T. manuelle) Methoden notwendig;
- Aussagen auf Basis von TLS Punktwolken/ Geländemodellen basieren auf einer Interpolation/Modellierung und nicht auf der direkten Messung gezielter Punkte.
   Für die Erfassung von Bewegungsraten und Bewegungsrichtungen sind daher signalisierte Punkte im Beobachtungsgebiet notwendig, die je nach erforderlicher Genauigkeit im Scan oder genauer, tachymetrisch gesondert gemessen werden.

### Fazit

Ein Terrestrial Laser Scan schaut auch bei mangelhaften Scan-Voraussetzungen auf den ersten Blick "schön" aus. Erst eine gute Planung der Messkampagne und die Einrichtung eines übergeordneten Bezugssystems machen die Daten universell einsetzbar (d.h.: aussagekräftige Ausarbeitungen und Produkte ableitbar). Eine entsprechende geodätische Fachexpertise ist deshalb Voraussetzung bei der Planung einer Messkampagne, um eine qualitativ geeignete Datengrundlage für geowissenschaftliche Analysen zu erhalten.

## Aktuelle hydrogeologische Karten und Datensätze der Fachabteilung Hydrogeologie und Geothermie

GERHARD SCHUBERT (1), RUDOLF BERKA (1), DANIEL ELSTER (1), PHILIPP LEGERER (1), ANDREA SCHOBER (1), RUDOLF PHILIPPITSCH (2) & HARALD MARENT (2)

Neben zahlreichen regionalen Projekten wurden in den letzten Jahren von Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern der Fachabteilung Hydrogeologie und Geothermie der Geologischen Bundesanstalt (GBA) mehrere geologisch-hydrogeologisch-hydrochemische Übersichtskarten und dazugehörige Erläuterungen des Bundesgebietes sowie österreichweite Datensätze zu Wasserentnahmen erstellt. Das gegenständliche Poster soll zu diesen Karten und Datensätzen einen Überblick vermitteln. In chronologischer Reihenfolge wurden in den letzten Jahren folgende hydrogeologische Übersichtskarten bearbeitet:

- "Hydrogeologische Karte von Österreich 1:500.000" (SCHUBERT, 2003, 2006).
- "Hydrogeologische Karte von Oberösterreich 1:200.000" (SCHUBERT & BERKA, 2007).
- Themenkarte "Radionuklide in den Grundwässern, Gesteinen und Bachsedimenten Österreichs 1:500.000 (BERKA et al., 2014a, b).
- "Karte der trinkbaren Tiefengrundwässer Österreichs 1:500.000" (BERKA et al., 2009; SCHUBERT, 2015).
- Themenkarte "Thermalwässer in Österreich 1:500.000" (ELSTER et al., 2016a, b).
- Themenkarte "Urangehalte von Grundwassermessstellen (GZÜV-Messstellen)
   1:500.000" (WEMHÖNER et al., 2015).

Während es sich bei den hydrogeologischen Karten von Österreich und Oberösterreich (SCHUBERT, 2003; BERKA & SCHUBERT, 2007) um allgemeine hydrogeologische Karten (Aquiferkarten) handelt, deren Legende sich an die internationale Standardlegende von STRUCKMEIER & MARGAT (1995) anlehnt, beleuchten die anderen genannten Werke jeweils einen speziellen Aspekt der Hydrogeologie und sind daher individuell gestaltet. Insbesondere sei darauf hingewiesen, dass die genannten Themenkarten – angepasst an die jeweilige Themenstellung – jeweils eine unterschiedlich gestaltete geologische Ebene aufweisen, die auf eine Kompilation der entsprechenden geologischen Karten der GBA und weitere Publikationen zurückgehen. So ist in der Karte zu den Tiefengrundwässern Österreichs (BERKA et al., 2009) das Quartär abgedeckt und in den großen Becken die neogenen Sedimente nach ihrer stratigrafischen Stufe gegliedert. In der Karte zu den Thermalwässern (ELSTER et al., 2016a) ist hingegen auch die gesamte "tertiäre" Füllung der Becken abgedeckt und es kommt der Beckenuntergrund, der für den Großteil der Thermalwässer von besonderer Bedeutung ist, zur Darstellung.

Die genannten Karten wurden alle in einem Geographischen Informationssystem (GIS) erstellt. Sie sind (mit Ausnahme von WEMHÖNER et al., 2015) nicht nur im Verlag der GBA käuflich zu erwerben, sondern größtenteils auch über die Website der GBA als Webdienst oder als pdf-Datei kostenlos zugänglich. Zurzeit laufen die Vorarbeiten, alle diese Karten auch über das Portal WISA (Wasserinformationssystem Austria) des Bundesministeriums für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft (BMLFUW) als Webdienst bereitzustellen. Mit Ausnahme der Hydrogeologischen Karte von Oberösterreich 1:200.000 (SCHUBERT & BERKA, 2007; bei dieser leistete das Amt der Oberösterreichischen Landesregierung einen maßgeblichen Beitrag) wurde die Bearbeitung der genannten Themenkarten durch das BM-LFUW/Sektion Wasserwirtschaft beauftragt.

Zurzeit ist eine weitere Themenkarte zum Thema "Mineral- und Heilwässer in Österreich" im Maßstab 1:500.000 mit Erläuterungen in Bearbeitung. Die Drucklegung ist für 2018 geplant. Zudem sollen zur genannten Hydrogeologischen Karte von Oberösterreich 1:200.000 (SCHUBERT & BERKA, 2007) Ende 2020 Erläuterungen veröffentlicht werden.

(1) Geologische Bundesanstalt, Neulinggasse 38, 1030 Wien. *gerhard.schubert@geologie.ac.at* (2) Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft, Stubenring 1, 1012 Wien.

2014 wurde im Auftrag des BMLFUW an der Fachabteilung auch ein Datensatz zu allen in den digitalen Wasserbüchern der Länder enthaltenen wasserrechtlich bewilligten Wasserentnahmen aus Quellen und Brunnen fertiggestellt (BERKA at al., 2014c). Für diesen Zweck wurden die verschiedenen Internet-Auftritte der Bundesländer abgefragt und die Daten in eine einheitliche Struktur gebracht. Der erstellte Datensatz enthält Informationen zu rund 71.700 Wasserentnahmen. 2017 wurde in gleicher Weise ein weiterer Datensatz zu rund 7.275 in Österreich wasserrechtlich bewilligten Wasserkraftwerken fertiggestellt (SCHOBER et al., 2017). Die erstellten Datensätze können von der GBA für interne Zwecke und Projekte genutzt werden (z.B. als Vorinformation bei hydrogeologischen Studien).

Die GBA wurde 2017 vom BMLFUW für weitere spezifische wasserwirtschaftliche Arbeiten beauftragt, die in Folge auch von der GBA als wichtige hydrologisch-hydrogeologische Zusatzinformationen genutzt werden können, um das Wissen über die angewandte Hydrogeologie Österreichs zu ergänzen und zu vertiefen. Es wird eine Evaluierung der an der GBA vorhandenen Archive zu Bohrdatensätzen durchgeführt werden, um festzustellen, inwieweit nutzbare Informationen und Daten hinsichtlich ressourcenträchtiger Grundwasserhorizonte vorhanden und verwertbar sind. Weitere Arbeiten beschäftigen sich mit der Verdichtung der Informationen sowie der Interpretation von Markierungsversuchen, die in der sogenannten "Markierungsversuche-Datenbank" des BMLFUW gehalten werden. Zusätzlich werden auch geologische Schnitte für ausgewählte Quellen, die vom BMLFUW betreut werden, erstellt.

### Literatur

- BERKA, R., PHILIPPITSCH, R. & SCHUBERT, G. (2009): Karte der trinkbare Tiefengrundwässer Österreichs 1:500 000. – In: SCHUBERT, G. (Red.) (2015): Trinkbare Tiefengrundwässer in Österreich. – Abhandlungen der Geologischen Bundesanstalt, **64**, Beilage, Wien.
- BERKA, R., PHILIPPITSCH, R., KATZLBERGER, C., SCHUBERT, G. & HÖRHAN, T. (2014a): Geologische Themenkarte "Radionuklide in den Grundwässern, Gesteinen und Bachsedimenten Österreichs 1:500.000". – Geologische Bundesanstalt, Wien.
- BERKA, R. KATZLBERGER, C., PHILIPPITSCH, R., SCHUBERT, G., KORNER, M., LANDSTETTER, C., MOTSCHKA, K., PIRKL, H., GRATH, J., DRAXLER, A. & HÖRHAN, T. (2014b): Erläuterungen zur geologischen Themenkarte "Radionuklide in den Grundwässern, Gesteinen und Bachsedimenten Österreichs 1:500.000". – 109 S., Geologische Bundesanstalt, Wien.
- BERKA, R., SCHUBERT, G., ELSTER, D., HOYER, S., BERKA, I., WEILBOLD, J., BRÜSTLE, A., FELLINGER, G., SCHIFKO, T. & ATZENHOFER, B. (2014c): Endbericht 2014 zu Projekt "Datenbank Wasserentnahmen – digitale Wasserbücher der österreichischen Bundesländer". – Unveröffentlichter Bericht, 20 S., Geologische Bundesanstalt, Wien.
- ELSTER, D., SCHUBERT, G., BERKA, R., PHILIPPITSCH, R., WESSELY, G., GOLDBRUNNER, J. & NIEDERBACHER, P. (2016a): Geologische Themenkarte "Thermalwässer in Österreich 1:500.000". – Geologische Bundesanstalt, Wien.
- ELSTER, D., GOLDBRUNNER, J., WESSELY, G., NIEDERBACHER, P., SCHUBERT, G., BERKA, R., PHILIPPITSCH, R. & HÖRHAN, T. (2016b): Erläuterungen zur geologischen Themenkarte Thermalwässer in Österreich 1:500.000. – 296 S., Geologische Bundesanstalt, Wien.
- SCHOBER, A., HOYER, S. & SCHUBERT, G. (2017): Abfrage und Aufbereitung von Daten aus den digitalen Wasserbüchern der BL zu Wasserkraftanlagen und zugehörige Datenbank 2016. – Unveröffentlichter Bericht, 10 S., Geologische Bundesanstalt, Wien.
- SCHUBERT, G. (Red.) (2003): Geologische Themenkarte "Hydrogeologische Karte von Österreich 1:500.000". – Geologische Bundesanstalt, Wien.
- SCHUBERT, G. (2006): Erläuterungen zur geologischen Themenkarte "Hydrogeologische Karte von Österreich 1:500.000".
   – 21 S., Geologische Bundesanstalt, Wien.
- SCHUBERT, G. (Red.) (2015): Trinkbare Tiefengrundwässer in Österreich. – Abhandlungen der Geologischen Bundesanstalt, 64, 179 S., Wien.
- SCHUBERT, G. & BERKA, R. (2007): Geologische Themenkarte "Hydrogeologische Karte von Oberösterreich 1:200.000". – Geologische Bundesanstalt, Wien.
- STRUCKMEIER, W.F. & MARGAT, J. (1995): Hydrogeological Maps. A Guide and a Standard Legend. – International Contributions to Hydrogeology, 17, 177 S., London.
- WEMHÖNER, U., HUMER, F., SCHUBERT, G., BERKA, R., PHILIP-PITSCH, R. & HÖRHAN, T. (2015): Uran in Grundwässern Österreichs. Bericht und Karte 1:500.000. – 62 S., BMLFUW, Wien.

## Wissenschaftliche Dokumentation von Rutschungen und Hangmuren im Konnex zur Unwetterkatastrophe in Stanz im Mürztal (Steiermark) im Juli 2016

NILS TILCH (1), ALEXANDRA HABERLER (1) & ARBEN KOÇIU (1)

### **Einleitung und Zielsetzung**

Am 25. Juli 2016 kam es im Gemeindegebiet von Stanz im Mürztal (Steiermark) infolge eines lokalen Starkregenereignisses (bis zu 90 l/m<sup>2</sup> innerhalb von etwa 20 min) zu zahlreichen Hangrutschungen und Hangmuren (Abb. 1) sowie zu Überflutungen und Vermurungen. Mehrere Anwesen waren aufgrund der entstandenen Schäden oder drohender weiterer Massenbewegungen von der Außenwelt abgeschnitten oder mussten evakuiert werden.

Wenige Tage später verschafften sich Mitarbeiter der Geologischen Bundesanstalt (GBA) in Begleitung je eines Vertreters des Amtes der Steiermärkischen Landesregierung und der Wildbach- und Lawinenverbauung (WLV) mittels eines Hubschrauberfluges und einer Geländebegehung einen ersten Überblick. Hiernach wurde zügig mit der detaillierten wissenschaftlichen Dokumentation der gravitativen Massenbewegungen begonnen. Das wesentliche Ziel bestand in der Erstellung einer qualitativ hochwertigen Datengrundlage für gefahrenpräventive Planungsmaßnahmen.

### Methodik und Vorgehensweise

Aus Sicherheitsgründen wurden sämtliche Erhebungen im Gelände zu zweit durchgeführt. Die Dokumentation der gravitativen Massenbewegungen erfolgte mittels eines für solche Anlässe seitens der Geologischen Bundesanstalt entwickelten analogen Erhebungsformulars, welches eine zügige ereignis- und gebietsübergreifend konsistente Bearbeitung ermöglicht. Zusätzlich wurden die Prozesse mittels GPS-Gerät und analog in den Kartengrundlagen verortet sowie fotografisch dokumentiert. Die erhobenen Detailinformationen zu den Prozessen, deren Standortverhältnissen und auslösenden Faktoren wurden in weiterer Folge mittels GIS zu einem Prozesskataster digital aufbereitet und statistisch ausgewertet, ferner wurden fragestellungsorientierte Themenkarten erstellt.

### Ergebnisse

Im Zuge der o.a. Ereignisdokumentation wurden Detailinformationen zu 366 gravitativen Massenbewegungen unterschiedlichen Typs gesammelt (Abb. 2a). Hierbei handelte es sich zumeist um Rutschungen (66 %), untergeordnet um Hangmuren (20 %), Übergangformen von Rutschungen zu Hangmuren (10 %) und initiale Massenbewegungen (4 %, z.B. Anrisse, Zerrspalten). Nicht zuletzt aufgrund des Dokumentationsziels wurden überwiegend aktive Prozessräume (86 %) erfasst, die im Juli 2016 entweder neu entstanden sind (73 %) oder reaktiviert wurden (13 %). Unterge-

Abb. 1.

Beispiele für aktive gravitative Massenbewegungen der Unwetterkatastrophe in Stanz im Mürztal im Juli 2016: Aktive Hangmure (a), aktive Rutschung (b) und reaktivierte Rutschung (c).



(1) Geologische Bundesanstalt, Neulinggasse 38, 1030 Wien. nils.tilch@geologie.ac.at



ordnet wurden auch ältere, aber inaktive Prozessräume dokumentiert (14 %). Die Spannbreite der Prozesskubaturen war recht groß, wobei kleine Prozesskubaturen häufig und große Prozesskubaturen nur vereinzelt vorkamen (Abb. 2b). Insbesondere im Fall von Gefahrenanalysen und bei der Erstellung von Planungsgrundlagen sollte jedoch bedacht werden, dass gerade Hangmuren trotz kleiner Prozesskubaturen recht große Prozessreichweiten von über 100 m (auch im Wald) hatten. Für den weitaus größten Anteil der Massenbewegungen wurde festgestellt, dass deren Abrissbereiche entweder entlang der Weg- und Straßenböschungen (71 %) oder außerhalb des Einflussbereiches hangstabilisierender Wurzeln größerer, älterer Bäume (83 %, Abb. 2c) lagen. Lediglich im Fall vergleichsweise tiefgründiger Massenbewegungen (ab ca. 1 m Mächtigkeit) ist älterer, großwüchsiger Baumbestand (insbesondere Fichten) mit abgerutscht. Eine die Standortfaktoren "Weg-/Straßeneinfluss" und "Vegetation" verknüpfende Auswertung hat ergeben, dass fast zwei Drittel der Prozesse an Weg- und Straßenböschungen und außerhalb des Einflussbereiches hangstabilisierender Wurzeln größerer, älterer Bäume entstanden sind. Daraus ergibt sich hinsichtlich einer verbesserten Gefahrenprävention für diese Region der Ansatzpunkt, dass zukünftig viele gravitative Massenbewegungen – und somit auch die dadurch induzierten Schäden und Gefahren – durch eine bessere Planung, Pflege und Instandhaltung der Forstwege und Straßen (inklusive der Böschungen und Entwässerungssysteme) sowie durch eine Bepflanzung der Böschungen mit tiefwurzelnder Vegetation vermieden werden könnten.

Hinsichtlich der prozessauslösenden Faktoren hat sich aufgrund der Geländeerhebungen ergeben, dass die meisten gravitativen Massenbewegungen ausschließlich durch hanghydro(geo)-

#### Abb. 2.

Statistische Ergebnisse hinsichtlich der im Zuge der wissenschaftlichen Dokumentation gravitativer Massenbewegungen in der Katastrophenregion "Stanz im Mürztal Juli 2016" erzielten Daten: Prozessanteile hinsichtlich a) des Prozesstyps, b) der Prozesskubaturen, c) des Standortfaktors "Vegetation" und d) der prozessauslösenden hydro(geo)logischen Faktoren.

logische Prozesse oder unter deren starker Beteiligung ausgelöst wurden (Abb. 2d). Als die wesentlichen hanghydrologischen Teilaspekte sind die intensive Durchfeuchtung der relativ feinkörnigen Lockergesteinsauflage (Reduktion/Verlust der – u.a. scheinbaren – Kohäsion) und der Porenwasser(über)druck infolge unterirdischer Abflusskonzentration – zumeist entlang der Grenze Festgestein/Lockergestein, seltener entlang von Makroporen (z.B. Grabgänge von Mäusen) – zu nennen.

### Weitere Vorgehensweise

Aufbauend auf den gewonnenen Ergebnissen sind folgende Arbeitsinhalte und -ziele angedacht:

- Recherche von Informationen zu gravitativen Massenbewegungen in den Archiven der Gemeinde und der zuständigen Gebietsbauleitung der WLV zwecks Schaffung eines ereignisübergreifenden digitalen Prozesskatasters für das gesamte Gemeindegebiet;
- Modellierung von Prozessdispositionskarten (= Gefahrenhinweiskarten) mittels statistischer Methoden zur Erzeugung von gefahrenpräventiven Planungsgrundlagen.

Diesbezüglich wird eine Zusammenarbeit mit den Gebietskörperschaften (Gemeinde, Bezirk), der Forstverwaltung sowie der zuständigen Gebietsbauleitung der WLV angestrebt.

## Das Salzkammergut im Spiegel der Sammlungen der Geologischen Bundesanstalt

### Pionierarbeiten

Schon in der Biedermeierzeit vor der Gründung der k. k. Geologischen Reichsanstalt im November 1849 waren Fossilien aus dem Salzkammergut im Fokus geowissenschaftlicher Erforschungen. Der Fossilreichtum in den Nördlichen Kalkalpen erregte zunehmendes Interesse, das bald auch in der wissenschaftlichen Literatur seinen Niederschlag fand. Nachfolgend werden ausgewählte Arbeiten vorgestellt, deren Bestände zum einen aus dem Salzkammergut stammen und zum anderen in den Fossilsammlungen der Geologischen Bundesanstalt (GBA) als Belegmaterial aufbewahrt werden, darunter auch unzählige wissenschaftlich wertvolle paläontologische Typusexemplare und Abbildungsoriginale.

Zunächst sind erste richtungsweisende Arbeiten über triassische Ammoniten von Franz von Hauer (1822–1899) zu nennen (HAUER, 1846, 1847, 1849, 1856). Zu den frühen Förderern der Geowissenschaften, wie auch von Franz von Hauer, gehörte Klemens Wenzel Lothar von Metternich



### IRENE ZORN (1) & THOMAS HOFMANN (1)

(1773–1859), allgemein als "Fürst Metternich" bekannt, der selbst eine Sammlung besaß. Einige Exemplare aus dem "Montanistischen Museum", der Vorgängerinstitution der k. k. Geologischen Reichsanstalt, die auch in dem Werk "Die Cephalopoden des Salzkammergutes aus der Sammlung des Fürsten von Metternich" (HAUER, 1846) beschrieben wurden (Abb. 1), sind heute in den Sammlungen der GBA erhalten. Darüber hinaus trugen Sammler und Bergleute wie Johann Georg Ramsauer (1795–1874) sowie Forscher mit regionalen Schwerpunkten, wie Friedrich Simony (1813–1896), in der Frühzeit der k. k. Geologischen Reichsanstalt wesentlich zum Bestand der Sammlungen bei.

### **Große Monografien**

Mit der Gründung der k. k. Geologischen Reichsanstalt erfolgte auch der Beginn der systematischen geologischen Kartierungen der Monarchie. Hier war es Edmund von Mojsisovics (1839–1907), der als kartierender Geologe und Stratigraf mit seinen umfangreichen Monografien über Cephalopoden über 30 Jahre wesentlich zur Gliederung der alpinen Trias beitrug (MOJSISOVICS, 1873, 1875, 1882, 1893, 1902). Die GBA ist im Besitz der größten Cephalopoden-Sammlung von Mojsisovics, die mehr als 300 Holotypen und Lectotypen enthält (Abb. 2). Zu erwähnen ist auch eine Arbeit über Bivalven von Mojsisovics (1874), dessen Belege ebenfalls an der GBA sind. Eine Verifizierung des Fossilmaterials von Mojsisovics' Arbeiten erfolgte rund 100 Jahre später durch Franz Tatzreiter und fand in drei Sammlungskatalogen seinen Niederschlag (TATZREITER, 1982, 1986; TATZREITER & ZORN, 2013).

Aus der Pionierzeit der geologischen Kartierung resultieren auch frühe Arbeiten von HAUER (1855) und Eduard Suess (1831–1914) über triassische Fossilien, wobei Suess die Brachiopoden bearbei-

Abb. 1.

Widmungsexemplar der ersten Monografie Franz von Hauers aus dem Jahr 1846, Handschrift von Wilhelm von Haidinger (1795–1871). tete (SUESS, 1855). Alexander Bittner (1850–1902), der mit Mojsisovics fachliche Dispute austrug, befasste sich mit Brachiopoden der Trias (BITTNER, 1890). Der Berliner Fritz Daniel Frech (1861–1917) verfasste eine Monografie über triassische Korallen (FRECH, 1890).

Den Jura betreffend ist zunächst HAUER (1854) zu erwähnen, der Ammoniten bearbeitete. Später publizierte Ferdinand Stoliczka (1838–1874) über jurassische Gastropoden und Bivalven (STOLICZKA, 1861), Georg Geyer (1857–1936) über Cephalopoden und Brachiopoden aus dem Hierlatzkalk (GEYER, 1886, 1889) sowie Melchior Neumayr (1845–1890) über Cephalopoden und Bivalven (NEUMAYR, 1871, 1873).

Die kreidezeitlichen Sedimente der Gosau-Gruppe wurden schon früh von August Emanuel Reuss (1811–1873), der damals in Prag lebte, monografisch bearbeitet (REUSS, 1854). Knapp 50 Jahre später revidierte der Leipziger Paläontologe Johannes Felix (1859–1941) die Korallen der Gosau-Gruppe (FELIX, 1903).

In der jüngeren Vergangenheit wurde das Typusmaterial der Cephalopoden aus der Oberkreide von SUMMESBERGER & ZORN (2012) dokumentarisch erfasst, das hauptsächlich von Anton REDTENBACHER (1841–1911) im Jahr 1873 erstbeschrieben wurde. Kreidezeitliche Korallen wurden von BARON-SZABO (2014) in einemgrößeren Kontext revidiert. Ein detaillierter Sammlungskatalog der publizierten oberkretazischen Korallen der Gosau-Gruppe in den Sammlungen der GBA erfolgte durch ZORN (2015).

### Elektronische Sammlungsverwaltung

Die Erfassung der Sammlungsbestände der GBA erfolgt mit der Software adlib (Sammlungsmodul) der Firma Axiell ALM (http://www.adlibsoft.de) und ist mit dem Bibliotheksmodul selbiger Firma verknüpft. Die Suche erfolgt über den gemeinsamen Katalog (http://opac.geologie.ac.at) über die Website der GBA (http://www.geologie.ac.at/). Im "Objektkatalog" werden reduzierte Stammdaten (Namen, Art des Typus, Literatur- und Abbildungshinweise) sämtlicher in den Sammlungen der GBA bisher erfassten paläontologischen Typusexemplare, Abbildungsoriginale und Belegexemplare zur Verfügung gestellt und laufend ergänzt. Sukzessive werden auch Fotos mit Schwerpunkt auf Holotypen hinzugefügt. Über eine Schnittstelle besteht eine Verbindung zum entsprechenden Literatureintrag im "Bibliothekskatalog". Hier ist vielfach neben dem Literaturzitat auch die Arbeit im Volltext (PDF) vorhanden.



Abb. 2. Holotypus von *Clydonites decoratus* (HAUER, 1846), ein Ammonit aus dem Hallstätter Kalk, aufgesammelt von Johann Georg Ramsauer (Etikett mit der Handschrift von Edmund von Mojsisovics, heute Sammlung GBA).

### Literatur

- BARON-SZABO, R.C. (2014): Scleractinian corals from the Cretaceous of the Alps and Northern Dinarides with remarks on related taxa. – Abhandlungen der Geologischen Bundesanstalt, **68**, 296 S., Wien.
- BITTNER, A. (1890): Brachiopoden der alpinen Trias. Abhandlungen der k. k. Geologischen Reichsanstalt, 14, 325 S., Wien.
- FELIX, J. (1903): Studien über die korallenführenden Schichten der oberen Kreideformation in den Alpen und den Mediterrangebieten. I. Theil: Die Anthozoen der Gosauschichten in den Ostalpen. – Palaeontographica, **49**, 163–360, Stuttgart.
- FRECH, F. (1890): Die Korallenfauna der Trias: 1. Die Korallen der juvavischen Triasprovinz. – Palaeontographica, **37**, 116 S., Stuttgart.
- GEYER, G. (1886): Über die liasischen Cephalopoden des Hierlatz bei Hallstatt. – Abhandlungen der k. k. Geologischen Reichsanstalt, **12**/4, 213–286, Wien.
- GEYER, G. (1889): Über die liasischen Brachiopoden des Hierlatz bei Hallstatt. – Abhandlungen der k. k. Geologischen Reichsanstalt, **15**/1, 1–88, Wien.
- HAUER, F. V. (1846): Die Cephalopoden des Salzkammergutes aus der Sammlung des Fürsten von Metternich: Ein Beitrag zur Paläontologie der Alpen. – 47 S., Wien (Braumüller).
- HAUER, F. V. (1847): Neue Cephalopoden aus dem rothen Marmor von Aussee. – Haidinger's Naturwissenschaftliche Abhandlungen, **1**, 257–277, Wien.
- HAUER, F. V. (1849): Ueber neue Cephalopoden aus den Marmorschichten von Hallstatt und Aussee. – Haidinger's Naturwissenschaftliche Abhandlungen, **3**, 1–26, Wien.
- HAUER, F. V. (1854): Über einige unsymmetrische Ammoniten aus den Hierlatz-Schichten. – Sitzungsberichte der Mathematisch-Naturwissenschaftlichen Classe der Kaiserlichen Akademie der Wissenschaften, **13**/2, 401–410, Wien.
- HAUER, F. V. (1855): Beiträge zur Kenntniss der Cephalopoden-Fauna der Hallstätter Schichten. – Denkschriften der Kaiserlichen Akademie der Wissenschaften, Mathematisch-Naturwissenschaftliche Classe, 9, 1. Abtheilung, 141–166, Wien.
- HAUER, F. V. (1856): Über die Cephalopoden aus dem Lias der nordöstlichen Alpen. – Denkschriften der Kaiserlichen Akademie der Wissenschaften, Mathematisch-Naturwissenschaftliche Classe, **11**, 1. Abtheilung, 1–86, Wien.
- MOJSISOVICS, E. V. (1873): Das Gebirge um Hallstatt. Eine geologisch-paläontologische Studie aus den Alpen. 1. Teil. Die Mollusken-Faunen der Zlambach- und Hallstätter-Schichten. – Abhandlungen der k. k. Geologischen Reichsanstalt, **6**/1, 1. Lieferung, 1–82, Wien.
- MOJSISOVICS, E. V. (1874): Über die triadischen Pelecypoden-Gattungen *Daonella* und *Halobia*. – Abhandlungen der k. k. Geologischen Reichsanstalt, **7**/2, 37 S., Wien.
- MOJSISOVICS, E. V. (1875): Das Gebirge um Hallstatt. Eine geologisch-paläontologische Studie aus den Alpen. 1. Teil. Die Mollusken-Faunen der Zlambach- und Hallstätter-Schichten. Abhandlungen der k. k. Geologischen Reichsanstalt, 6/1, 2. Lieferung, 83–174, Wien.

- MOJSISOVICS, E. V. (1882): Die Cephalopoden der Mediterranen Triasprovinz. – Abhandlungen der k. k. Geologischen Reichsanstalt, **10**, 322 S., Wien.
- MOJSISOVICS, E. V. (1893): Das Gebirge um Hallstatt. Eine geologisch-paläontologische Studie aus den Alpen. 2. Teil. Die Cephalopoden der Hallstätter Kalke. – Abhandlungen der k. k. Geologischen Reichsanstalt, **6**/2, 835 S., Wien.
- MOJSISOVICS, E. V. (1902): Die Cephalopoden der Hallstätter Kalke. – Abhandlungen der k. k. Geologischen Reichsanstalt, **6**/1 (Supplement-Band), 177–356, Wien.
- NEUMAYR, M. (1871): Jurastudien (Zweite Folge). Jahrbuch der k. k. Geologischen Reichsanstalt, **21**/3, 297–378, Wien.
- NEUMAYR, M. (1873): Die Fauna der Schichten mit *Aspidoceras acanthicum.* Abhandlungen der k. k. Geologischen Reichsanstalt, **5**, 141–257, Wien.
- REDTENBACHER, A. (1873): Die Cephalopodenfauna der Gosauschichten in den nordöstlichen Alpen. – Abhandlungen der k. k. Geologischen Reichsanstalt, **5**/5, 91–140, Wien.
- REUSS, A.E. (1854): Beiträge zur Charakteristik der Kreideschichten in den Ostalpen, besonders im Gosauthale und am Wolfgangsee. – Denkschriften der Kaiserlichen Akademie der Wissenschaften, Mathematisch-Naturwissenschaftliche Classe, **7**, 1. Abtheilung, 1–156, Wien.
- SUESS, E. (1855): Über die Brachiopoden der Hallstätter Schichten. – Denkschriften der Kaiserlichen Akademie der Wissenschaften, Mathematisch-Naturwissenschaftliche Classe, 9, 2. Abtheilung, 23–32, Wien.
- SUMMESBERGER, H. & ZORN, I. (2012): A Catalogue of the Type specimens of Late Cretaceous Cephalopods housed in the Collections of the Geological Survey of Austria in Vienna. Jahrbuch der Geologischen Bundesanstalt, **152**/1–4, 101–144, Wien.
- STOLICZKA, F. (1861): Über die Gastropoden und Acephalen der Hierlatz-Schichten. – Sitzungsberichte der Mathematisch-Naturwissenschaftlichen Klasse der Kaiserlichen Akademie der Wissenschaften, **43**, 1. Abtheilung, 157–204, Wien.
- TATZREITER, F. (1982): Katalog der Typen und Abbildungsoriginale der Geologischen Bundesanstalt. 3. Teil: Typen, Abbildungsoriginale und Belegstücke zu MOJSISOVICS, E. v. (1893):
   Die Cephalopoden der Hallstätter Kalke. Verhandlungen der Geologischen Bundesanstalt, **1982**/2, 123–147, Wien.
- TATZREITER, F. (1986): Katalog der Typen und Abbildungsoriginale der Geologischen Bundesanstalt. 4. Teil: Typen, Abbildungsoriginale und Belegstücke zu MOJSISOVICS, E. v. (1882):
  Die Cephalopoden der mediterranen Triasprovinz. Jahrbuch der Geologischen Bundesanstalt, **129**/1, 129–140, Wien.
- TATZREITER, F. & ZORN, I. (2013): The Cephalopods of the Hallstatt Limestone Described in the Monographs by Edmund von Mojsisovics 1873, 1875 and 1902 Stored in the Palaeontological Collection of the Geological Survey of Austria. – Jahrbuch der Geologischen Bundesanstalt, **153**/1–4, 107–190, Wien.
- ZORN, I. (2015): Upper Cretaceous Corals Stored in the Palaeontological Collections of the Geological Survey of Austria. – Jahrbuch der Geologischen Bundesanstalt, **155**, 147–197, Wien.

### Aerogeophysik in Korea

KLAUS MOTSCHKA (1), ANDREAS AHL (1) & MARTIN HEIDOVITSCH (1)

Der Geologische Dienst von Korea (Korea Institute of Geoscience and Mineral Resources, KIGAM) verfügt über kein elektromagnetisches Messsystem zur Fernerkundung per Hubschrauber (HEM-System, Helicopter-Electro-Magnetic-System). Da die Geologische Bundesanstalt (GBA) ein solches besitzt, wurde zu Beginn des Jahres 2013 vereinbart, im Rahmen eines Kooperationsabkommens den koreanischen Kollegen die Anwendung dieses Systems in Theorie und Praxis zu demonstrieren. Zu diesem Zweck wurde ein Messgebiet im Norden von Korea beflogen (630 Line-Kilometer) und den 30 dabei anwesenden koreanischen Geophysikern und Geologen konnten sowohl die Praxis als auch die Grenzen und die Probleme der Messmethodik aufgezeigt werden. Trotz zeitlicher, logistischer sowie un-



vorhersehbarer wetterbedingter Schwierigkeiten konnte das Vorhaben erfolgreich abgeschlossen werden und KIGAM beschloss eine weitere Befliegung im Zentrum (YI et al., 2015) und im Süden des Landes (Abb. 1) im Jahr 2014 durchzuführen. Dabei wurden 1.000 Line-Kilometer beflogen und erneut konnte die Anwendung der Messmethodik auf die Exploration von Uran, Grafit und Gold einer großen Gruppe von koreanischen Geowissenschaftlern demonstriert werden. Bei der Auswertung und Inversion der Daten war ein koreanischer Geophysiker in Wien zu Gast. Exemplarisch ist in Abbildung 2 der scheinbare elektrische Widerstand 10 m unter GOK im Messgebiet Haenam an der Südküste Koreas dargestellt. Die sehr geringen Widerstände werden durch Salzwasserintrusionen verursacht, die höheren Widerstände im zentralen Südteil korrelieren mit einer epithermalen Goldlagerstätte. Im nächsten Schritt plant KIGAM nun ein eigenes Messsystem zu entwickeln und die GBA beratend hinzuzuziehen.

### Literatur

YI, M.-J., KIM, J.-H., SUNG, N.-H., HAN, M.-H., MOTSCHKA, K., SUPPER, R., HEIDOVITSCH, M. & AHL, A. (2015): Delineation of black-shale type uranium deposit by Airborne EM survey in Korea. – Near-Surface Asia Pacific Conference, Waikoloa, Hawaii, 7–10 July 2015, 394–397, Waikoloa.



(1) Geologische Bundesanstalt, Neulinggasse 38, 1030 Wien. klaus.motschka@geologie.ac.at

### Das internationale Geomonitoringnetzwerk der GBA

DAVID OTTOWITZ (1), BIRGIT JOCHUM (1), ROBERT SUPPER (1), STEFAN PFEILER (1), STEFANIE GRUBER (1), ANNA ITA (1) & IVO BAROŇ (2)

Im Jahr 2001 wurde das erste geoelektrische Monitoring von der Geologischen Bundesanstalt (GBA) in Sibratsgfäll (Vorarlberg) aufgebaut. Im Rahmen des EU FP7 SAFELAND Projektes wurde 2009 ein Monitoringnetz am Gschliefgraben installiert, welches im Rahmen des FWF-TEMPEL-Projektes auf mehrere europäische Hangrutschungsgebiete erweitert wurde. Im Rahmen des ÖAW-Projektes LAMOND und FWF-Projektes HYDROSLIDE werden die Messungen fortgeführt bzw. auf andere Lokationen verlegt (Abb. 1).

Im Rahmen des EU FP7 Projektes **SAFELAND** (Laufzeit 2009–2012) wurde eine Grundlage für eine allgemeine quantitative Risikobewertung und eine Risikomanagementstrategie für Hangrutschungen auf lokaler, regionaler, europäischer wie auch auf allgemein gesellschaftlicher Ebene entwickelt. Ziel des Projektes ist eine verbesserte Erfassung von Hangrutschungen und des damit einhergehenden Gefährdungspotenzials (BAROŇ & SUPPER, 2013; SUPPER et al., 2013c).

Das Hauptziel des FWF-Projektes **TEMPEL** (2011–2014) war es, zu evaluieren, ob geoelektrische Parameter als mögliche Indikatoren für eine bevorstehende Auslösung von Hangbewegungen in gefährdeten Gebieten herangezogen werden können. Die Schwerpunkte waren die Entwicklung des GEOMON4D-Gerätes (geoelektrisches Monitoring) einerseits und andererseits die Ar-

Abb. 1.

Lage der Monitoringsites in Europa (Österreich, Italien und Frankreich) sowie in Südkorea.



<sup>(1)</sup> Geologische Bundesanstalt, Neulinggasse 38, 1030 Wien. *david.ottowitz@geologie.ac.at* (2) Naturhistorisches Museum Wien, Burgring 7, 1010 Wien.

beiten des südkoreanischen Experten Jung-Ho Kim vom Korea Institute of Geoscience and Mineral Resources (KIGAM) im Bereich der 4D-Dateninversion. Im Rahmen des Projektes wurden an verschiedensten Massenbewegungen in Europa Monitoringsysteme installiert, die erstmals über längere Zeiträume komplexe Datensätze, bestehend aus geoelektrischen sowie hydrologischen und bewegungsanzeigenden Werten mit hoher zeitlicher Wiederholungsrate, generierten. Im Zuge der Kooperation mit KIGAM wurde auch in Südkorea ein geoelektrisches Monitoringsystem aufgebaut. (SUPPER et al., 2013a, b; KIM et al., 2013).

Im ÖAW-Projekt **LAMOND** (2015–2017) soll ein verbessertes Verständnis jener geologischer Prozesse im Untergrund erreicht werden, die zur Auslösung einer Hangrutschung führen. Hierzu werden langfristige Mess-Serien in verschiedenen geologischen Umgebungen zur Erfassung der relevanten Parameter durchgeführt, die in der Folge in eine numerische Modellsimulation einfließen sollen. Außerdem werden die soziologischen Auswirkungen von Frühwarnmeldungen betrachtet und lokale Entscheidungsträger in die Entwicklung von optimierten Frühwarnsystemen eingebunden. Projektpartner: ETH Zürich, KIGAM, Universität Wien.

In dem vom FWF finanzierten internationalen Kooperationsprojekt **HYDROSLIDE** (2016–2018) soll ein verbessertes Verständnis jener geologischen Prozesse im Untergrund erreicht werden, die zur Auslösung einer tonreichen Hangrutschung führen. Hierzu werden Monitoring-Methoden, unter anderem Induzierte Polarisation (IP), verwendet, die vor allem auf die speziellen Eigenschaften tonreicher Hangrutschungen angepasst sind. Projektpartner: Universität Straßburg (EOST), TU Wien (Geophysik).

Das ÖAW-Projekt ATMOPERM (2016–2018) hat zum Ziel, die Methode der Geoelektrik für die Erkundung der Dicke der Auftauschicht im Bereich des Gebirgspermafrostes weiterzuentwickeln und für ein langfristiges Monitoring zu optimieren. Da der spezifische elektrische Widerstand des Untergrundes unter anderem vom Vorhandensein flüssigen Wassers sowie von der Temperatur des Bodens abhängig ist, sollte sich diese Methode sehr gut für die Fragestellung der Änderung von Permafrost-Bedingungen eignen. Ergänzt werden die geoelektrischen Messungen durch periodische EM, Seismik und Georadarmessungen. Projektpartner: Zentralanstalt für Meteorologie und Geodynamik (ZAMG), Karl-Franzens-Universität Graz, TU Wien (Geophysik), KIGAM, USG/alpS, Université de Fribourg (UFG).

### Literatur

- BAROŇ, I. & SUPPER, R. (2013): Application and reliability of techniques for landslide site investigation, monitoring and early warning outcomes from a questionnaire study. New Developments and Applications in Early Warning, Monitoring and Remote Sensing of Landslides. Natural Hazards and Earth System Sciences, 13, 3157–3168, Göttingen. DOI: https://dx.doi.org/10.5194/nhess-13-3157-2013
- KIM, J.-H., SUPPER, R., TSOURLOS, P. & YI, M.-J. (2013): Fourdimensional inversion of resistivity monitoring data through Lp norm minimizations. – Geophysical Journal International, **195**/3, 1640–1656, Oxford. DOI: https://doi.org/10.1093/gji/ggt324
- SUPPER, R., OTTOWITZ, D., JOCHUM, B., KIM, J.H., RÖMER, A., BARON, I., PFEILER, S., LOVISOLO, M., GRUBER, S. & VECCHIOTTI, F. (2013a): Geoelectrical monitoring: an innovative method to supplemented landslide surveillance and early warning. – Near surface geophysics, **12**/1, 133–150, Houten. DOI: https://dx.doi.org/10.3997/1873-0604.2013060
- SUPPER, R., OTTOWITZ, D., JOCHUM, B., RÖMER, A., PFEILER, S., GRUBER, S., KEUSCHNIG, M. & ITA, A. (2013b): Geoelectrical monitoring of frozen ground and permafrost in Alpine areas: Field studies and considerations towards an improved measuring technology. – Near Surface Geophysics, **12**/1, 93–115, Houten.

DOI: https://dx.doi.org/10.3997/1873-0604.2013057

SUPPER, R., BARON, I., OTTOWITZ, D., MOTSCHKA, K., GRUBER, S., WINKLER, E., JOCHUM, B. & RÖMER, A. (2013c): Airborne geophysical mapping as an innovative methodology for landslide investigation: evaluation of results from the Gschliefgraben landslide, Austria. – Natural Hazards and Earth System Sciences, **13**, 3313–3328, Göttingen. DOI: https://dx.doi.org/10.5194/nhess-13-3313-2013

## Geologische und Geothermische 3D-Modellierung im Österreichischen Molassebecken

Sebastian Pfleiderer (1), Gregor Götzl (1), Magdalena Bottig (1), Clemens Porpaczy (1) & Anna Katharina Brüstle (1)

### Einleitung

Der geologische Untergrund des Molassebeckens im nördlichen Alpenvorland unterliegt steigenden Anforderungen hinsichtlich der Nutzung von Erdwärme, Thermalwasser und Speicherung von Erdgas oder CO<sub>2</sub>. Um Grundlagen für eine gemeinsame Nutzung und eine Raumplanung in drei Dimensionen zu schaffen, wurde das dreijährige EU-Projekt GeoMol, "Bewertung der Geopotenziale in den alpinen Vorlandbecken für die nachhaltige Planung und Bewirtschaftung der natürlichen Ressourcen" (www.geomol.eu), durchgeführt (GEOMOL TEAM, 2015). In Österreich umfassten die Arbeiten unter anderem eine geologische 3D-Modellierung des gesamten oberund niederösterreichischen Molassebeckens von der Oberkante des kristallinen Untergrundes bis zur Geländeoberfläche sowie eine geothermische Modellierung eines Pilotgebietes im Grenzgebiet Oberösterreich/Bayern (PFLEIDERER et al., 2016). Ziel des Projektes war die geologische 3D-Modellierung und die Bewertung von Geopotenzialen im nördlichen Alpenvorland.

### Datengrundlage

Basisdaten für die geologische Modellierung bestanden aus 688 publizierten Bohrprofilen, 95 Bohrprofilen der österreichischen Erdölunternehmen RAG und OMV, 148 publizierten geologischen Profilschnitten von insgesamt 4.500 km Länge, 24 publizierten Struktur- und Mächtigkeitskarten und 65 ebenfalls von den österreichischen Erdölunternehmen RAG und OMV zur Verfügung gestellten seismischen Profilen mit einer Gesamtlänge von 1.300 km. Die Lage der publizierten Bohrungen und geologischen Profilschnitte ist in Abbildung 1 dargestellt. Für die geothermische Modellierung wurden 1.510 publizierte Temperaturmessungen, davon 1.201 BHT-Messungen (bottom hole temperatures), herangezogen (Abb. 1).

### **Geologisches Modell**

Bei der geologischen Modellierung wurden zehn Horizonte bearbeitet: die Unterkanten des Karpatiums, des Ottnangiums, des Eggenburgiums, des Egeriums, des Kiscelliums, des Eozäns, der allochthonen Molasse, der Oberkreide, des Oberjuras und des Mitteljuras. Die Oberfläche des Paläozoikums beziehungsweise des Kristallins ergibt sich dabei durch die Unterkanten aufliegender Einheiten. Die Horizonte beschreiben erstmalig die Erstreckung, Tiefenlage und Struktur der geologischen Einheiten für das gesamte ober- und niederösterreichische Molassebecken. Neue Erkenntnisse ergaben sich insbesondere hinsichtlich der Strukturen und Verbreitung der Oberkreide-,



Abb. 1. Lage der zur geologischen Modellierung verwendeten publizierten Bohrungen und geologischen Profilschnitte sowie der Tiefbohrungen mit Temperaturmesswerten im Bereich des Pilotgebietes Oberösterreich-Bayern.

(1) Geologische Bundesanstalt, Neulinggasse 38, 1030 Wien. sebastian.pfleiderer@geologie.ac.at



Abb. 2.

Anhand der Ergebnisse der 3D-Modellierung aktualisierte geologische Karte der Molassebasis (aus PFLEIDERER et al., 2016).

Jura- und der paläozoischen/kristallinen Gesteine im Bereich der zentralen Schwellenzone in Oberösterreich. Diese ist nicht von jurassischen Gesteinen überlagert und ihre Südbegrenzung verläuft im Vergleich zu früheren Arbeiten weiter südlich. Die Jura-Sedimente erstrecken sich südlich der Schwellenzone weiter nach Süden als bisher bekannt (Abb. 2).

### **Geothermisches Modell**

Für das konduktive Temperaturmodell im Pilotgebiet wurden die Wärmeleitfähigkeiten der geologischen Modelleinheiten anhand deren lithologischer Zusammensetzung abgeschätzt und anschließend die Temperaturverteilung zwischen der Geländeoberfläche und 7.000 m Tiefe für den stationären Fall modelliert. Die Temperaturverteilung ist von der Tiefenlage der geologischen Einheiten abhängig (Abb. 3) und zeigt entlang der Oberjura-Oberkante einen nach Süden ansteigenden Trend, wobei die Effekte tektonischer Strukturen wie der zentralen Schwellenzone oder der Ried-Störung sichtbar werden. Die Tiefenlage der 100° C-Isotherme zeigt, dass im Gebiet Ried– Geinberg eine Stromgewinnung mittels Erdwärme prinzipiell bereits ab einer Tiefe von -2.000 m bis -2.200 m Seehöhe möglich ist, während nordöstlich und südwestlich davon die Temperatur von 100° C erst in Tiefen von -3.400 m Seehöhe erreicht wird.

### Literatur

- GEOMOL TEAM (2015): GeoMol Assessing subsurface potentials of the Alpine Foreland Basins for sustainable planning and use of natural resources. – Project Report, 188 S., Bayerisches Landesamt für Umwelt, Augsburg.
- PFLEIDERER, S. (Hrsg.), GÖTZL, G., BOTTIG, M., BRÜSTLE, A.K., PORPACZY, C., SCHREILECHNER, M., EICHKITZ, C., JUD, M., SACHSENHOFER, R., ZOSSEDER, K., CASPER, S., GOLDBRUNNER, J., KRIEGL, C., KOLMER, C. & DIEPOLDER, G.W. (2016): GeoMol – Geologische 3D-Modellierung des österreichischen Molassebeckens und Anwendungen in der Hydrogeologie und Geothermie im Grenzgebiet von Oberösterreich und Bayern. – Abhandlungen der Geologischen Bundesanstalt, **70**, 85 S., Wien.

Abb. 3.

Blockbild der Temperaturverteilung (links) und Profilschnitt durch das konduktive Temperaturmodell mit Darstellung der geologischen Strukturen (rechts) (aus PFLEIDERER et al., 2016).



# Potential assessment for the use of near surface geothermal energy in the Alpine region within the GRETA project

DORIS RUPPRECHT (1), STEFAN HOYER (1) & MAGDALENA BOTTIG (1)

## **GRETA** – Geothermal REsources in the Territory of the Alpine space

The project GRETA aims to foster Near-Surface Geothermal Energy (NSGE) in the territory of the Alpine space. Main goals are to assess potentials of NSGE, exchange knowledge and best practices on a transnational basis and to integrate NSGE into policy instruments. 12 partners from six countries (Germany, France, Italy, Switzerland, Slovenia and Austria) are participating in this project, cofinanced by the European Regional Development Fund (ERDF) through the Interreg Alpine Space programme. The start of this three years lasting project was in December 2015, first results are accessible via the project homepage

http://www.alpine-space.eu/projects/greta/en.

### Potential assessment of the use of NSGE

In Austria, the focus within the project is set on the potential of NSGE in the Alpine space, thus, mainly addressed to winter tourism in high altitude regions. In the course of the assessment on the current status of high altitude NSGE installations, so called "best practice examples" were identified. These examples show the broad applicability of NSGE systems in the Alpine space. Examples include different types of NSGE systems like horizontal collectors, groundwater heat pumps or borehole heat exchanger fields. They show how operators run a valuable NSGE installation in high altitudes (e.g. the Hotel Crystal, Ötztal, 1,905 m altitude). They also show how in areas with so-called rough climate, conditions can be unexpectedly well (e.g. the company Euroclima, Sillian, 1,083 m altitude). From these examples, challenges as well as relevant operational criteria and constraints can be derived in a qualitative approach.

In the first year of the project, challenges of high altitude regions and remote areas were assessed in the course of this best, but also "bad" practice example evaluation. Challenges identified are mainly related to underground temperatures – e.g. cold underground temperatures at very high altitude locations or below-average temperatures of groundwater aquifers in low altitude locations due to drainage from mountainous areas.

This assessment made clear that underground temperature is a key parameter for NSGE potential assessment. This parameter is usually calculated based on outside air temperature under consideration of elevation. It can be assessed more precise under consideration of e.g. solar radiation, snow cover and underground properties. This method is not used as a standard because multiple parameters are needed which are not easily available. Thus, calculations tend to get more complex and special software is required. The University of Natural Resources and Life Sciences in Vienna (BOKU) has developed a software called SoilTempSim, allowing complex simulations of underground temperatures (GRABENWEGER, 2015).

For validation of these simulated values, measurement stations are necessary - those were missing in the Austrian case study area (Leogang and Saalbach-Hinterglemm). That is why, in autumn 2016, monitoring stations were installed in the municipality of Leogang. Two stations were realised in the valley at about 800 m, two were installed further up the mountain at 1,250 m (south-slope) and 1,400 m (north-slope). Drillings for the burial of measurement chains were carried out using an electric hammer. Dependent on underground properties, the drillings reached depths of 1 to 3 m. Samples were taken from the drilling cores in order to perform soil analyses. The remaining material was used to backfill the drillings, mixed with bentonite pellets. The measurement chains are in-house developments and consist of single digital thermometers (Ds18b20) measuring the underground temperature. They are attached to a data cable in depths of 10 cm, 20 cm, 50 cm, 1 m, 1.5 m and 3 m below surface. The data loggers connected to the measurement chains are based on an Arduino Micro controller. Lead accumulators and a solar panel supply power. Data is collected every two hours and stored on an SD card. One sample per day is transmitted via SMS protocol and can be downloaded in csv format.

## First results of the ground temperature monitoring

The first analysis of the monitoring data show interesting results. Different than expected not the sensors in the valley (~800 m altitude) show the highest underground temperatures but the sensors located in the mountains at an altitude of 1,250 m (station Sonnberg, heading southwards). This might be due to an early snow cover acting as

thermal insulation. The earliest and thickest snow cover is at the north-facing station 4 (Bergbahn). Here, the temperature drop is the least significant. These first results show, how much influence parameters like the snow cover or the exposition do have on the underground temperature and that altitude as such is not reliable to predict underground temperatures.

### References

GRABENWEGER, P. (2015): SoilTempSimV3C – A model to calculate soil temperatures accounting for frozen soil conditions (user manual). – 8 S., University of Natural Resources and Life Sciences, Vienna.

## Advanced airborne electro-magnetics for capturing hidden conduits and hydrological parameters by helicopter over the Ox Bel Ha karst conduit system (Quintana Roo, México)

Arnulf Schiller (1), Ingrid Schattauer (1), Robert Supper (1), Klaus Motschka (1), Gonzalo Alonso Merediz (2) & Alejandro López Tamayo (2)

The Ox Bel Ha karst system (Quintana Roo, México) with over 250 kilometers of explored underwater tunnels is significant part of a vast, in large part still non-explored complex conduit network at the Caribbean coast around Tulum. It represents the main freshwater resource of the city of Tulum, stressed by increasing tourism and urban development. The Geological Survey of Austria (GBA) and Amigos de Sian Ka'an, a local NGO dedicating numerous projects to preservation of the unique biodiversity as well as Mayan tradition in the region, initiated together with European partners, particularly the Center of Hydrogeology and Geothermics, University of Neuchâtel, a scientific collaboration with the target to study structure, dynamics, and development of this karst groundwater system. One main goal is to develop a hydrological model for estimating the impact of the current situation as well as different possible future scenarios addressing urban/touristic or climate development. In several field campaigns extended surveys and monitoring/logging were

conducted including electrical resistivity tomography, borehole geophysics, groundwater level monitoring, tracer tests and chemical analysis as well as acquisition of the karst conduits geometry and flow velocity data using new developed laser devices, and airborne electromagnetics (AEM; Text-Fig. 1). The acquired data serves for setting up the flow and solute transportation models.

The frequency domain-AEM method applied in this study is, concerning the hardware, very common. The instrument consists of a tuned four frequency coil transmitter (400, 3,200, 7,200, 29,000 Hz) and corresponding tuned receiver circuits mounted into a 6 m long torpedo-shaped 'bird' which hangs 30 m below helicopter/50 m above ground during flight. It transmits a primary EM-field into the underground which generates eddy currents. The receiver senses primary field and the secondary field caused by eddy currents. With adapted hardware design and data preprocessing the pure secondary field strength is extracted which – after inversion of the data – gives the apparent electrical conductivity distribution in the underground. The hydrological situation

Text-Fig. 1.

Schiller et al.

Survey area with flight paths of 2015 survey. Google earth; © 2016 INEGI, Image Landsat / Copernicus. Data SIO, NOAA, U.S. Navy, NGA, GEBCO-



Text-Fig. 2. Principle of cave detection in AEM sections.



(1) Geologische Bundesanstalt, Neulinggasse 38, 1030 Wien. arnulf.schiller@geologie.ac.at
 (2) Amigos de Sian Ka'an, Calle Fuego #2, Sm 4, Mz 10, 4, 77500 Cancún, Q.R., México.



Text-Fig. 3. Principle of enhancing conduit signatures in noisy data.

concerning water saturation, water salinity, porosity of the matrix, and presence of conduits maps more or less distinct into the electrical conductivity image so relevant parameters principally can be derived. However, AEM-data is usually corrupted by different kind of external and internal interference producing artefacts and degrading resolution. In course of the studies, new automatic data processing techniques have been developed for reducing significantly noise and system drift (Text-Figs. 2, 3). These comprise 3-stage automatic drift correction (spline, height correlation, de-stripping) and reduction of vertical gradient field in the inversion result caused by strong saltwater response. Furthermore, a new 2-dimensional circular noise filtering technique was developed for enhancing connected linear structures (as conduits) in the case of weak signal/noise ratio. The improved results give a clearer image of already known as well as unknown conduits in vertical sections as well as maps revealing the true extension of the vast conduit network (Text-Fig. 4). Furthermore, a complex halocline table shows up clearly in gradient field with vertical resolution in



meter range. Altogether, it is proven that, supported by advanced data processing methods, a common AEM-system can deliver crucial hydrogeological information about a karst ground water regime over a wide and nearly nonaccessible area in short time with near-optimum resolution down to depths of 50 m in the presence of saltwater.

Text-Fig. 4. Enhanced conduit signatures (light gray) compared with known caves (blue, turquoise. Google earth; © 2016 Google, © 2016 INEGI. Data SIO, NOAA, U.S. Navy, NGA, GEBCO. Image © 2017 DigitalGlobe.

## **GeoPLASMA-CE in Österreich**

CORNELIA STEINER (1), GREGOR GÖTZL (1) & JULIA WEILBOLD (1)

### Das Projekt GeoPLASMA-CE

Der Name GeoPLASMA-CE steht für "Shallow Geothermal Energy Planning, Assessment and Mapping Strategies in Central Europe". Im Rahmen einer Förderung des Interreg Programmes Central Europe der Europäischen Union werden im Zeitraum von 2016 bis 2019 harmonisierte Methoden und Abläufe erarbeitet, die zu modernen Planungs- und Bewirtschaftungskonzepten für die Nutzung der oberflächennahen Geothermie in urbanen und ländlichen Räumen führen sollen. Die Harmonisierung erfolgt durch den Zusammenschluss von Kompetenzen aus den teilnehmenden Ländern Deutschland, Tschechien, Slowakei, Slowenien und Österreich. Die teilnehmenden Organisationen stellen die staatlichen Geologischen Dienste der involvierten Länder, die Universität von Kraków, der Bundesverband Geothermie in Deutschland, die Stadtverwaltung Ljubljana sowie zwei Kleinunternehmen in Deutschland mit einschlägiger Expertise dar. Die Leitung dieses Vorhabens liegt bei der Geologischen Bundesanstalt (GBA) in Wien.

Die erarbeiteten Konzepte werden anschließend in sechs Pilotgebieten angewendet und getestet: Vogtland/Nordwestböhmen (DE, CZ) – Niederschlesien (PL, CZ) – Stadt Kraków (PL) – Stadt Bratislava (SK, AT) – Stadt Wien und Umland (AT) – Stadt Ljubljana (SI).

Das Projektziel in diesen Gebieten ist die Erarbeitung moderner Entscheidungsgrundlagen für die Planung, Bewirtschaftung und Überwachung geothermischer Nutzungen und ihre Bereitstellung für die entscheidenden Akteure (Behörden, Stadt- und Regionalplanern sowie Anwendern).

Um eine möglichst große Reichweite über die Pilotgebiete hinaus zu erzielen, wird ein Webportal aufgebaut (www.geoplasma-ce.eu), welches neben den speziell für die Pilotgebiete entwickelten Informationssysteme zur oberflächennahen Geothermie auch eine Expertenplattform für Zentraleuropa anbieten wird, die der Abfrage vereinheitlichter Methoden und der Vernetzung dienen soll.

### Herausforderungen und Ziele im Pilotgebiet Wien

Die Stadt Wien ist einem starken Marktdruck im Bereich der oberflächennahen Geothermie ausgesetzt, insbesondere in der thermischen Nutzung des Grundwassers. Nutzungskonflikte wirken sich vor allem in einer thermischen Überbelastung der oberflächennahen Grundwasservorkommen aus. Das österreichische Wasserrecht, grundsätzlich nicht für die thermische Nutzung des Grundwassers konzipiert, kann dieser Entwicklung derzeit nicht ausreichend folgen, sodass nach dem Prinzip "First-Come – First-Serve" gehandelt wird, ohne eine energetische Nutzungsoptimierung des Grundwasserkörpers zu berücksichtigen.

Die größte Dichte von Grundwasserwärmepumpen in der Stadt Wien findet sich im Marchfeldgrundwasserkörper. Im Stadtgebiet östlich der Donau existieren bereits 713 Grundwasserwärmepumpen (Stand: Februar 2017). Dieses Pilotgebiet ist daher prädestiniert, um Management-Strategien zur Bewältigung der Herausforderungen durch Nutzungskonflikte zu entwickeln und zu testen.

Mit den Planungs- und Bewirtschaftungskonzepten wird ein Paradigmenwechsel weg von der individuellen Betrachtung von Einzelanlagen hin zu einem integrativen Management des gesamten Pilotgebietes angestrebt. Ein Leitfaden soll neben allgemeinen Planungsgrundsätzen geowissenschaftliche Daten für die Potenzialabschätzung der oberflächennahen Geothermie zur Verfügung stellen. Für die allgemeinen Planungsgrundsätze werden in Abstimmung mit Vertretern der Stadt Wien Beschränkungen und Förderungen geothermischer Anlagen erarbeitet und implementiert. Ein bereits vorhandenes Grundwassermodell des Marchfeldaquifers wird aktualisiert und wird einer Potenzialkarte für die thermische Nutzung des Grundwassers als Grundlage dienen. Des Weiteren ist die Erstellung von Grundwassertemperaturkarten zu zwei jahreszeitlichen Zuständen für das Pilotgebiet geplant.

### Herausforderungen und Ziele im Pilotgebiet Bratislava

Das Pilotgebiet erstreckt sich von der Stadt Bratislava über die angrenzenden Gemeinden in Österreich. Der österreichische Teil befindet sich im ländlichen Raum. Die Landschaft wird durch Landwirtschaft, Wälder und dem Nationalpark Donau-Auen charakterisiert. Entsprechend gering ist die Anzahl der Anlagen zur Nutzung der oberflächennahen Geothermie im österreichischen Teil des Pilotgebiets (65 Grundwasserwärmepumpen). Eine thermische Überbeanspruchung der oberflächennahen Grundwasservorkommen und einhergehende Nutzungskonflikte zwischen den Anlagen sind daher aus heutiger Sicht nicht zu erwarten. Durch die räumliche Nähe zur Stadt Bratislava werden jedoch eventuell zukünftig gemeinsame Planungs- und Bewirtschaftungskonzepte erforderlich sein, sollte die zu erwartende Ausdehnung des Siedlungsraumes von Bratislava auf die österreichischen Gemeinden eintreten. Des Weiteren könnten transnationale Konflikte zur Aquifernutzung auftreten, die im südöstlichen Bereich des Pilotgebietes nicht durch die Donau getrennt sind.

Oberflächennahe Grundwasserkörper spielen in Österreich zum Teil bereits eine wichtige Rolle für die landwirtschaftliche Bewässerung und Trinkwasserversorgung, bzw. könnten sie dafür in Zukunft vermehrt von Bedeutung sein. In diesen Gebieten sind folglich Konflikte zwischen diesen Anlagen und der thermischen Nutzung des Grundwassers nicht auszuschließen. Die Entwicklung effizienter und nachhaltiger Bewirtschaftungskonzepte für die oberflächennahe Geothermie ist daher auch für den ländlichen Raum von großer Bedeutung. In Österreich trifft dies vor allem auf Regionen in Niederösterreich und im Burgenland zu. Die für den österreichischen Teil des Pilotgebietes entwickelten Management-Strategien könnten nicht nur eine wichtige Vorbildwirkung für diese Regionen darstellen, sondern auch übernommen und im Bedarfsfall für die jeweiligen Gebiete angepasst werden.

Weitere Informationen zum Projekt GeoPLAS-MA-CE können der Website *www.geoplasma-ce.eu* entnommen werden.

## PanGeo FP7 Project: Ground motion study for Salzburg based on Radar SAR PSI (Persistent Scatterer Interferometry) – Analysis and Interpretation

FILIPPO VECCHIOTTI (1) & ARBEN KOÇIU (1)

### Introduction

The ground motion study for the federal province of Salzburg and surrounding was carried out during the course of the PanGeo FP7 European Union project which was primarily based on the analysis of satellite Persistent Scatterers (PS) ground motion data for 1992–2010, derived by ALTAMIRA by processing ERS-1/2 SAR and ENVI-SAT ASAR imagery with the SPN software.

In this study the combined use of geological and other geospatial layers available at the Geological Survey of Austria (GBA), together with PS dataset allow for the identification of homogeneous polygons or "Ground Stability Layers" (GSL) which corresponded to a certain type of geohazard.

The area covered by the GSL corresponds to an administrative area of roughly 1,070 km<sup>2</sup> and the geohazards observed through the PS data analysis included both natural processes (shrink-swell clays) and anthropogenic instability like buildings built on filled or made ground.

### **Data and methods**

On the whole, the PS dataset used consisted in a first PS campaign based on the processing of 58 ERS SAR images with date range of analysis between 10/05/1992 and 13/12/2000 (30,000 points measured) and of a second campaign based on the processing of 62 ENVISAT and ERS SAR images with date range of analysis between 24/10/2001 and 29/08/2007 (4,000 points measured).

A series of geologic datasets composed primarily of in-house recent vector geological maps together with information concerning mass movements stored into the in-house geo-database GEORIOS (Koçıu et al., 2007) and point data information concerning gravitational mass movements and boreholes gathered into the SAGIS web GIS application were adopted for the analysis.

The decision to consider as a threshold for stable areas a PSI range between -2.1  $mmy_{-1}$  and 2.1  $mmy_{-1}$  is due to the results of the Bundesamt

für Eich- und Vermessungswesen (BEV) levelling campaigns undertaken between 1968 and 1990 showing for the studied area an average difference in height varying between -0.3 and -0.5 mmy<sub>-1</sub> (Höggerl, 2001).

### Results

The most widespread phenomenon recognised to be potentially responsible for shallow compaction is connected to waterlogging which cover an area of 25.53 km<sup>2</sup>. A lithology very prone to shrink swell clay instead is the lake clay (Salzburger Seeton) which has an extension of 14.3 km<sup>2</sup>.

The PSI observed geohazards cover an area of 0.822 km<sup>2</sup> and among them natural process leading to peat oxidation, due to the presence of moor sediment, are dominant. Furthermore, episodes of subsidence related to the shrinking and swelling of superficial and buried lake clay were mapped. More in detail in the municipality of Seekirchen am Wallersee the phenomenon which affected the local buildings, related to the lake clay sediment that undergoes a process of shrink in summer and swelling in winter (Text-Fig. 1), is very well known since 20 years as the "schiefen Häuser" in Seekirchen (*http://web.utanet.at/tothladi/ daten/21.htm*).

Finally, sporadic anthropogenic ground instability due to made ground consolidation were also observed. Another task carried out was the collection of ground truth data as validations proof of evidence of the reliability of the PS method. The validation was made directly in the field where it was possible to observe several signs of instabilities like cracks in buildings, found as well as in fences and pavements, rolling roads, residential houses facade provided with prisms for precision monitoring and tilted geodesic pole installed on the ground. The one landslide and the two soil creep observed from PSI in the area investigated were also validated in the field (VECCHIOTTI & KOÇIU, 2013).



Those results are published on the website of the PanGeo project (www.pangeoproject.eu) where the report for the province of Salzburg can be downloaded together with the Ground Stability layer (as a shape file). Furthermore, this GLS layer which respects the European geo-information INSPIRE conformity compliances, published under the OneGeology portal (*http://portal.onegeology.org*), can be viewed and imported as a web-service on a local GIS software.

### References

- HÖGGERL, N. (2001): Bestimmung der rezenten Höhenänderungen durch wiederholte geodätische Messungen. – Festschrift "Die Zentralanstalt für Meteorologie und Geodynamik 1851–2001", 630–644, Wien (Leykam).
- KOÇIU, A., KAUTZ, H., TILCH, N., GRÖSEL, K., HEGER, H. & REISCHER, J.
  (2007): Massenbewegungen in Österreich.– Jahrbuch der Geologischen Bundesanstalt, **147**, 215–220, Wien.
- VECCHIOTTI, F. & KOÇIU, A. (2013): Geohazard Description for Salzburg. – Public Pangeo FP7 Final Report accessible at the *http://www.pangeoproject.eu/eng/coverage\_map* (last accessed on 22.02.2017).

### Text-Fig. 1.

PanGeo Ground Stability layer overlaid to PSI ERS ascending velocity map over Seekirchen am Wallersee, Salzburg.

## Geoelectrical methods for landslide monitoring: case study Laakirchen, Upper Austria

ANNA SARA AMABILE (1, 2), DAVID OTTOWITZ (1), BIRGIT JOCHUM (1), STEFAN PFEILER (1) & ROBERT SUPPER (1)

One of the main precursors for landslide activation/reactivation is intense and prolonged precipitation, with consequent pore water pressure rise due to infiltration of rainfall that seeps into the ground. Monitoring hydrological parameters such as precipitation, water content and pore pressure, in combination with displacement analysis for early warning purposes, is necessary to understand the triggering processes. Since the reduction over time of electrical resistivity corresponds to an increase of water content, electrical resistivity monitoring can help to interpret the modifications of slope saturation conditions after heavy rainfalls.

In this Master thesis (AMABILE, 2016) we mainly refer to the study from the Laakirchen site, located in the judicial district of Gmunden (Upper Austria). During March 2010, a shallow rotational landslide was triggered by snow melting and intense rainfall, in the vicinity of a newly constructed house. Laakirchen landslide was monitored by geophysical/geotechnical measurements from September 2011 to June 2013. In less than two years, a maximum movement of about 700 mm has been recorded at a depth of 3.5 m b.g.l. by an automatic inclinometer (DMS automatic inclinometer, C.S.G. patents, Text-Fig. 1c). The orientation of the permanent geoelectrical profile is parallel to the gradient of the slope, including 60 electrodes, placed at intervals of 1 m (Text-Fig. 1b). The power supply for the automatic inclinometer is provided by a solar panel and a corresponding battery (Text-Fig. 1a), as well as the connection to the local power grid, brought no limitation to the number of daily measurements (every four hours) carried out for geoelectrical monitoring.

Focusing on the most intense precipitation events, the apparent resistivity data have been processed with an innovative 4D-inversion algorithm (KIM et al., 2009) developed within the cooperation between the Geological Survey of Austria (GBA) and the Korea Institute of Geoscience and Mineral Resources (KIGAM). We select a significant rainfall event in December 2011 to interpret the electrical response of the slope. The geoelectrical inversion results show a significant contrast in electrical resistivity between two areas of the section: the upper layer is characterised by higher resistivity (above 50  $\Omega$ m) lying on a less resistive clayey substratum (Text-Fig. 2a). This pattern can be correlated to the presence of a sliding surface, which is confirmed by the displacements measurements recorded at a depth of 3.5 m b.g.l. by the automatic inclinometer.

Text-Fig. 1.

Situation of the autonomous resistivity monitoring system: solar panel for remote monitoring (a), profile tracking (b) and installation of the DMS automatic inclinometer (c).



Geologische Bundesanstalt, Neulinggasse 38, 1030 Wien. annasara.amabile@geologie.ac.at
 Università degli studi di Salerno, Via Giovanni Paolo II, 132 – 84084 – Fisciano SA, Italia.



The dependence of electrical resistivity variation with depth is evident: greater resistivity reductions are recorded in the most superficial points, where the water content changes with a larger range (resistivity decrease is around 20–30% on the shallow surface) (Text-Figs. 2b–d). The areas affected by the most significant decrease in resistivity probably correspond to the mobilised layers, indicated also by displacement monitoring results.

### Acknowledgements

The analysis of the monitoring data of Laakirchen landslide, carried out during my internship at the Geological Survey of Austria in Vienna, is part of a larger study designed to develop and test the GEOMON4D geoelectrical system, in combination with complementary geotechnical monitoring sensors (rain gauge, automatic inclinometer, water pressure and water content sensors) to support the interpretation of the electrical response of the near surface (SUPPER et al., 2014).

In order to undertake this study, within the TEMPEL project (founded by the Austrian Science Fund, TRP 175-N21) and the LAMOND project (in the frame of the ESS program of the Austrian Academy of Science), the Geological Survey of Austria has organised a network of monitoring stations (SUPPER et al., 2012) including also the Laakirchen station. The main goal of the TEMPEL and LAMOND projects is to evaluate temporal changes of geoelectrical properties of the subsurface as possible indicator of future failure of high risk landslides; such indicators would be beneficial to any effective early warning system.

### Text-Fig. 2.

Distribution of electrical resistivity in the subsurface  $[\Omega m]$  (a), distribution of resistivity ratio  $\rho t/\rho 0$  [-] (b, c), Electrical Resistivity Tomography (ERT) images are compared with the reference time in (a), graphic of hourly precipitation (turquoise), cumulative precipitation (light blue) and 4D inverted resistivity time series at different depths (d). The arrows indicate the dates of the results displayed in a, b and c.

### References

- AMABILE, A.S. (2016): Geoelectrical methods for landslide monitoring: the case study of Laakirchen, Upper Austria. – Unpublished Master thesis, University of Salerno, Fisciano, Italy.
- KIM, J.-H., YI, M.-J., PARK, S.-G. & KIM, J.G. (2009): 4-D inversion of DC resistivity monitoring data acquired over a dynamically changing earth model. – Journal of Applied Geophysics, 68/4, 522–532, Amsterdam.
- SUPPER, R., JOCHUM, B., KIM, J.-H., OTTOWITZ, D., PFEILER, S., BAROŇ, I., RÖMER, A., LOVISOLO, M. & MOSER, G. (2012): The TEMPEL geoelectrical monitoring network for landslides: highlights of recent monitoring result. – Berichte der Geologischen Bundesanstalt, **93**, 144–151, Wien.
- SUPPER, R., OTTOWITZ, D., JOCHUM, B., KIM, J.-H., RÖMER, A., BARON, I., PFEILER, S., LOVISOLO, M., GRUBER, S. & VECCHIOTTI, F. (2014): Geoelectrical monitoring: an innovative method to supplement landslide surveillance and early warning. – Near Surface Geophysics, **12**, 133–150, Houten.

## Mineralogy and petrology of magmatic and metamorphic rocks in the Permian–Lower Triassic Haselgebirge of the Eastern Alps: geodynamic implications

MANFRED BERNROIDER (1), FRANZ NEUBAUER (1), ANJA SCHORN (1) & THOMAS ZIEGLER (1)

### Abstract

The evaporite mélange of the Haselgebirge Formation exposed in the central Northern Calcareous Alps (Moosegg, Weitenau, Hallstatt, Grundlsee) comprises a wide range of dm- to m-sized tectonic blocks of magmatic and metamorphic rocks. Few metagabbro clasts contain a partly altered magmatic mineral assemblage including plagioclase, clinopyroxene and titanomagnetite. The patchy clinopyroxene grains have cores of  $Wo_{40,2}En_{47,6}Fs_{12,2}$  and rims of  $Wo_{36,4}En_{44,2}Fs_{19,4}$ . The rims are partly replaced by a fine-grained mixture of chemically unresolvable amphiboles, opaque and other minerals. The metamorphic assemblage of other pseudomorphs contains phengitic white mica (3.55 to 3.65 Si per formula unit; Early Variscan <sup>40</sup>Ar/<sup>39</sup>Ar ages) and Na-rich amphiboles (winchite). Because of the missing foliation, the metamorphic assemblage represents likely ocean floor metamorphism.

Other samples of meta-biotite-diorite/-gabbro as well as meta-syenite contain plagioclase, kaersutite, and Ti-rich biotite as primary minerals, and actinolite, chlorite and epidote in a metamorphic assemblage. Biotite <sup>40</sup>Ar/<sup>39</sup>Ar ages range from 270 to 248 Ma. In some of these rocks we also found a magnesio-hornblende/actinolite + opaque minerals in the core of kaersutite, which could be a pseudomorph after clinopyroxene. We also found idiomorphic glaucophane with small phengite-rich white mica, respective rims of phengitic white mica around biotite indicating static high-pressure conditions during their formation (Text-Fig. 1). In deformed amphiboles, exsolution resulted in formation of riebeckite-rich rims against actinolite cores. Na-rich amphiboles (mainly magnesio-riebeckite) are particularly important in many metamorphic rocks as well as infill of extensional gashes, particularly in dolomite lenses. As a working hypothesis, we postulate formation of Narich amphiboles by interaction between a brine and rock at an elevated temperature.

In fine-grained, well preserved blueschist samples from an abandoned quarry at Weitenau, idiomorphic glaucophane in a fine-grained mat-

Text-Fig. 1.

Back-scattered electron images of magmatic biotite with a rim of phengitic white mica (wm) in fine-grained K-feldspar (Kf) bearing matrix of a meta-syenite sample. Numbers represent spots of microprobe analyses. The biotite of samples has an apparent <sup>40</sup>Ar/<sup>39</sup>Ar age of ca. 250 Ma. Consequently the phengitic white mica has grown during the Alpidic cycle.



(1) University of Salzburg, Department of Geography and Geology, Hellbrunnerstraße 34, 5020 Salzburg. manfred.bernroider@sbg.ac.at



rix of K-feldspar, quartz and phengitic white mica and some carbonate is common (Text-Fig. 2). The glaucophane can be zoned with a prograde zonation with decreasing CaO and FeO<sub>tot</sub> and increasing  $Al_2O_3$  contents towards the rim. Unfortunately, the white mica is too fine for dating with the  ${}^{40}Ar/{}^{39}Ar$  technique. Other unusual rocks are greenschists, in which green colored Cr-celadonite was found within carbonate-anhydrite layers in addition to fine-grained Mg-riebeckite. Preliminary  ${}^{40}Ar/{}^{39}Ar$  ages scatter at ca. 160 Ma. Together, the fine-grained blueschists with idiomorphic glaucophane and the Cr-celadonite bearing greenschist potentially constrain a Jurassic metamorphic event within blueschist facies conditions. Text-Fig. 2. Back-scattered electron images of a fine-grained blueschist with zoned idiomorphic glaucophane (gln) in a fine-grained matrix of quartz (qz), white mica (wm) and K-feldspar (kf).

The new data indicate a magmatic suite in the Alpine Haselgebirge, which is dominated by mildly alkaline rocks of a potentially rift origin. The phengitic white mica and glaucophane of meta-gabbro indicate a phase of post-Permian blueschist metamorphism as well as the Cr-celadonite dated at ca. 160 Ma. We speculate that part of blocks preserve remnants of a Mesozoic subduction zone of a rift-related passive continental margin sequence of the Meliata Ocean.

## HYDROSLIDE – Bildgebung mittels Induzierter Polarisation (IP) zur verbesserten Charakterisierung von tonreichen Hangrutschungen

JAKOB GALLISTL (1), ADRIAN FLORES-OROZCO (1) & DAVID OTTOWITZ (2)

Hangrutschungen, die sich in tonreichen Sedimenten ausbilden, stellen aufgrund ihrer Schnelligkeit, ihres Rutschvolumens und ihrer Ausbreitung eine ernstzunehmende sozioökonomische Bedrohung dar und bedürfen adäquater Monitoring- und Frühwarnsysteme. Starke Niederschläge als Hauptgrund für das Auftreten von Rutschungen stellen die Frage nach der Wasserzirkulation und der Modellierung der solchen für die Verbesserung und Weiterentwicklung der bestehenden Frühwarnsysteme. Die elektrische Widerstandstomografie (Electrical Resistivity Tomography – ERT) als geophysikalische Methode liefert Informationen über den spezifischen elektrischen Widerstand des Untergrundes und wird weitläufig zur Charakterisierung von Hangrutschungen verwendet. Da der spezifische elektrische Widerstand unter anderem eine Funktion der Wassersättigung ist, kann die Methode zusätzlich zur Abgrenzung der Rutschfläche auch zur Charakterisierung von Bereichen höherer Wassersättigung, wie für die Modellierung der Wasserzirkulation benötigt, herangezogen werden. Für tonreiche Hangrutschungen ist die Methode jedoch limitiert, da der Kontrast des spezifischen elektrischen Widerstandes zwischen tonreichen und wassergesättigten Sedimenten gering ist. Die Methode der Induzierten Polarisation (IP) als Erweiterung der Widerstandstomografie erlaubt zusätzlich die Messung des Polarisationseffektes (der kapazitiven Eigenschaften) des Untergrundes. Da tonreiche Sedimente typischerweise mit einem höheren Polarisationseffekt in Verbindung gebracht werden (z.B. FLORES OROZCO et al., 2012), sollte eine Unterscheidung zwischen Bereichen höheren Tongehaltes und Wassersättigung und somit eine verbesserte Charakterisierung der hydrogeologischen Eigenschaften der Hangrutschung möglich sein.

Um die IP-Methode, im Vergleich zur herkömmlichen Widerstandstomografie, zu evaluieren, wer-

den im Rahmen des HYDROSLIDES-Projektes, finanziert vom österreichischen Wissenschaftsfonds FWF und der französischen Forschungsagentur ANR, Messungen an zwei Standorten in Frankreich und Österreich durchgeführt, an denen sowohl Langzeit-ERT-Datensätze sowie eine Vielzahl von zusätzlichen Informationen (geodätisch, hydrologisch etc.) verfügbar sind. Die La-Valette-Hangrutschung als einer der Standorte ist eine der wichtigsten und komplexesten Hangrutschungen in den französischen Südalpen. Die aus Flysch und Kalksandstein bestehende und im März 1982 aktivierte Rutschung bewegt sich auf einer Gleitfläche aus Schwarzmergel (HIBERT et al., 2012) und stellt durch ihre unmittelbare Nähe zur Gemeinde Saint-Pons im Barcelonnette Becken eine direkte Bedrohung dar. Trotz diverser durchgeführter geophysikalischer Messungen konnten bisher jene Eigenschaften und Untergrundstrukturen der Rutschung, die maßgeblich die Wasserzirkulation kontrollieren, nicht hinreichend charakterisiert werden. Aus diesem Grund wurden Messungen der Spektral Induzierten Polarisation (SIP) – IP-Messungen bei verschiedenen Frequenzen des injizierten Stroms – durchgeführt, um zu evaluieren, ob die Methode eine verbesserte Charakterisierung der hydrogeologischen Eigenschaften der Hangrutschung erlaubt. SIP-Datensätze wurden an jeweils drei Profilen parallel sowie normal zur Rutschung gemessen. Die Messungen erfolgten mit einem DAS-1 (von Multi-Phase Technology) unter Verwendung von 64 Elektroden und zehn verschiedenen Frequenzen im Bereich 0,5–225 Hz. Die Inversion der Daten wurde mit CRTomo (KEMNA, 2000) durchgeführt. Abbildung 1 zeigt die Bildgebungsergebnisse der SIP-Methode für das Profil 1 (parallel zur Hangrutschung mit 5 m Elektrodenabstand) in Form des Real-  $\sigma'$  und Imaginärteils  $\sigma''$  der komplexen elektrischen Leitfähigkeit für eine Frequenz von 0,5 Hz. Im Vergleich zur Widerstandstomografie



erlaubt die zusätzliche Information des IP-Signals  $(\sigma^{\prime\prime})$  sowohl eine verbesserte Charakterisierung der Rutschfläche (Abb. 1 - Grenzfläche in 50 m Tiefe zwischen moderaten und niedrigen Werten von  $\sigma$ ), als auch die Erkennung räumlich limitierter Tonlinsen (Abb. 1 –  $\sigma$ " Anomalie bei 100 m). Diese Beobachtungen stehen in Übereinstimmung mit jenen aus früheren Untersuchungen (z.B. HIBERT et al., 2012), jedoch ist die weitere Interpretation der elektrischen Eigenschaften in Abbildung 1 aber insbesondere die Analyse des Signals bei verschiedenen Frequenzen feldmomentaner Forschungsarbeit. Die Ergebnisse der SIP-Methode deuten jedoch eine detaillierte Charakterisierung der elektrischen Eigenschaften des Untergrundes an und sollten eine verbesserte Beschreibung möglicher Wasserzirkulationspfade in tonreichen Hangrutschungen erlauben.

### Abb. 1.

Bildgebungsergebnisse der SIP-Methode in Form des Real-  $\sigma'$  und Imaginärteils  $\sigma''$  der komplexen elektrischen Leitfähigkeit für eine Frequenz von 0,5 Hz.

#### Literatur

- FLORES OROZCO, A., KEMNA, A. & ZIMMERMANN, E. (2012): Data error quantification in spectral induced polarization imaging. – Geophysics, 77/3, E227–E237, Tulsa.
- HIBERT, C., GRANDJEAN, G., BITRI, A., TRAVELLETTI, J. & MALET, J.P. (2012): Characterizing landslides through geophysical data fusion: Example of the La Valette landslide (France). – Engineering Geology, **128**, 23–29, Amsterdam.
- KEMNA, A. (2000): Tomographic Inversion of Complex Resistivity: Theory and Application. – Berichte des Instituts für Geophysik der Ruhr-Universität Bochum, Reihe A, **56**, 176 S., Bochum.

## Long-term electrical resistivity data analysis for landslide monitoring: the case study of Rosano

CARLOTTA GUARDIANI (1, 2), DAVID OTTOWITZ (1), BIRGIT JOCHUM (1), STEFAN PFEILER (1) & ROBERT SUPPER (1)

In the context of landslide monitoring, an integrated approach of several techniques is necessary to understand the mechanisms that control slope stability. Among the traditional monitoring techniques, the geoelectrical methods are currently employed for the investigation of the landslide body by means of high spatial resolution tomographic imaging. Temporal variations of the electrical resistivity can be correlated to changes in soil water content: modifications of slope saturation conditions are one of the most common precursors to landslide reactivation. This Master thesis presents and analyses the results of three years of monitoring data from a landslide in Rosano (44.662453 N, 9.104703 E, north-western Italy, Text-Fig. 1), collected with the GEOMON4D system, a geoelectrical permanent monitoring system developed by the Geological Survey of Austria (GUARDIANI, 2016).

The landslide reactivated in December 2004 due to heavy rainfall events and signs of structural failure on rural buildings were reported by the inhabitants of the hamlet. The elements at risk are the settlements in Rosano, which are located in two sectors that can be regarded as two geomorphological steps of the slope. This composite landslide has a general dynamic behaviour that can be regarded as a slow earthflow susceptible to intense and prolonged precipitations. The geological setting is quite heterogeneous: landslide debris covers a sequence of alternated layers of clayey-silt overburdens and calcareous rocks with different grades of alteration.

Electrical resistivity measurements were performed from July 2012 until April 2015 along a geoelectrical profile comprising 93 stainless steel electrodes, buried at a depth of approximately half meter and with a spacing of 2.5 m, for a total length of 230 m (Text-Fig. 2). One set of data includes 4,300 gradient-type measurements, which enables to achieve a good resolution of the tomographic images of the subsurface. The apparent resistivity data have been processed with two different approaches: 2D tomographic inversion for independent time-step processing and a 4D algorithm producing a time-space model of the electrical resistivity that is allowed to change continuously over time (KIM et al., 2009, developed within the cooperation between the GBA and the



Geologische Bundesanstalt, Neulinggasse 38, 1030 Wien. carlotta.guardiani@geologie.ac.at
 Politecnico di Milano, Piazza Leonardo da Vinci 32, 20133 Milano, Italia.

Text-Fig. 1.

On the left side, the geoelectrical monitoring network of the Geological Survey of Austria (GBA) and location of Rosano (Bing maps); on the right, limestone formation outcropping along SP40 road in Cabella Ligure.



Text-Fig. 2. Installation of the geoelectrical profile (left side); solar panel and methanol fuel cell (right side).

Korea Institute of Geoscience and Mineral Resources, KIGAM). The former method has been applied to the entire monitoring period and the comparison of Electrical Resistivity Tomography (ERT) results over time produced long-term electrical resistivity variations time series. Differencing 2D inversion results enabled to identify a clear dependence between the electrical response of the shallow subsurface and precipitation, with a significant decrease occurring within the shallow layers due to the saturation of the slope.

Then, the inversion processing was conducted with the 4D inversion algorithm, providing a spacetime resistivity model that is allowed to change continuously over time. This method was used to analyse resistivity variations in a short-time scale, taking into account major intense rainfall events (Text-Fig. 3). This type of processing proved to be more representative of the spatial distribution of resistivity variations and thus more suitable for the interpretation of change in water content. Data filtering based on the raw signals (i.e. forward and backward current, signal-to-noise ratio) and electrode status assessment provided significant improvements to inversion results, by lowering the RMS error and reducing artefacts.

### Acknowledgements

This academic work was involved in a larger project carried out at the Geological Survey of Austria, which aims to test this geophysical method in the frame of several case studies that are part of a geoelectrical monitoring network. The measurements were funded by the TEMPEL project (Austrian Science Fund, TRP 175-N21) and the LAMOND project in the frame of the ESS program of the Austrian Academy of Science. It was supported by the university Politecnico di Milano, under the scholarship "Master thesis abroad", academic year 2015–2016.

### References

- GUARDIANI, C. (2016): Long-term electrical resistivity data analysis for landslide monitoring: the case study of Rosano. – Unpublished Master thesis, Politecnico di Milano, 97 pp., Milano.
- KIM, J.-H., YI, M.-J., PARK, S.-G. & KIM, J.G. (2009): 4-D inversion of DC resistivity monitoring data acquired over a dynamically changing earth model. – Journal of Applied Geophysics, **68**/4, 522–532, Amsterdam.

### Text-Fig. 3.

On the left, distribution of electrical resistivity in the subsurface [ $\Omega$ m]:

(a) distribution of resistivity ratios  $\rho t/\rho 0$  [-], (b, c) ERT images are compared to the reference time (a). On the right, graphic of hourly precipitation (turquoise) and 4D inverted resistivity time series at different depths.



## Genesis of spodumene bearing pegmatites in the Austroalpine unit (Eastern Alps): isotopic and geochemical investigations

TANJA ILICKOVIC (1), RALF SCHUSTER (1), HEINRICH MALI (2), BENJAMIN HUET (1) & ALBERT SCHEDL (1)

### Introduction

In the Austroalpine unit of the Eastern Alps, spodumene bearing pegmatites spread heterogeneously over an E–W distance of more than 400 km. They are always associated with barren pegmatites with Permian crystallisation ages. According to SCHUSTER & STÜWE (2008) the Permian event is triggered by lithospheric extension, causing crustal basaltic underplating, and high temperature-low pressure metamorphism and intense magmatic activity within the crust. During this study Permian pegmatites and leucogranites and their relations to the country rocks are studied. Further isotopic and geochemical measurements were performed on pegmatites and country rocks to investigate the genesis of the spodumene bearing pegmatites.

### **Field observations**

Permian pegmatites occur in three different domains (Text-Fig. 1): (1) In structurally lower parts networks of pegmatitic patches, narrow pegmatitic dykes and larger feldspar dominated pegmatites occur in aluminosilicate bearing, garnet rich micaschists and paragneisses with indications of initial anatexis. The pegmatitic patches have a maximum thickness of a few centimeters. Field relationships indicate that associated pegmatitic dykes were formed by accumulation of melt from the patches. According to data from surrounding micaschists and paragneisses this level stayed in a depth of c. 18 km and experienced high-amphibolite facies metamorphic conditions (~ 0.4 GPa and 650° C; e.g. STÖCKERT, 1987; HABLER & THÖNI, 2001) during the Permian event. (2) Structurally higher domains are characterised by concordant barren pegmatites with mineral assemblages of feldspar, quartz, muscovite, garnet and tourmaline and inhomogeneous leucogranitic bodies with pegmatitic striae. (3) Evolved pegmatites occur as partly discordant dykes in structurally uppermost levels. Feldspar, quartz, muscovite, garnet and



Text-Fig. 1. Genetic model of Permian pegmatites.

tourmaline form the common assemblage, but additionally spodumene and beryll are present. Very rarely tiny grains of cassiterite, columbite and REE-minerals have been found. According to the presence of contemporaneously formed garnet in surrounding micaschists and paragneisses pegmatites intruded in upper greenschist facies (~ 0.3 GPa at 500° C) crustal levels at c. 10 km depth.

(1) Geologische Bundesanstalt, Neulinggasse 38, 1030 Wien. tanja.ilickovic@geologie.ac.at
 (2) Montanuniversität Leoben, Peter-Tunner-Straße 5, 8700 Leoben.

### Isotopic and geochemical investigations

New Sm/Nd garnet ages from three spodumene bearing pegmatites (264–268 Ma) and leucogranites (276–288 Ma) are in the range of data from barren pegmatites (264–273 Ma; THÖNI et al., 2008). Initial eNd and <sup>87</sup>Sr/<sup>86</sup>Sr values calculated for 260 Ma are typically -8.0 and 0.714 for pegmatites, whereas those from the surrounding metapelites are -10 and 0.72 respectively. The difference may be due to melt generation from paragonite rich white mica, quartz and plagioclase whereas biotite, muscovite and garnet stayed in the country rock.

Whole rock geochemical data on micaschists and paragneisses from different Austroalpine complexes yield concentrations of 30–150 ppm Li, 0.5-4 ppm Ta, 0.2-1 ppm Tl, 1–10 ppm Sn and Na<sub>2</sub>O/K<sub>2</sub>O ratios of 0.2-1.9. In strongly deformed pegmatites and leucogranites concentrations of 20–650 ppm Li, 0.7-11 ppm Ta, 0.3-2.1 ppm Tl, 6-26 ppm Sn and Na<sub>2</sub>O/K<sub>2</sub>O ratios of 0.2-1.9 were determined. This indicates low fractionation coefficients between country rocks and pegmatites of less than 10 for these elements. However, analyses from large spodumene-pegmatite samples from the Weinebene (GÖD, 1989; MALI, 2004) are characterised by fractionation coefficients of 10 to 100.

LA-ICP-MS trace element analyses on muscovites show progressively decreasing K/Rb ratios from the pegmatitic patches and feldspar dominated pegmatite dykes (88-470), towards the leucogranitic bodies (63–193) to the spodumene pegmatites (16-149). Similar trends can be seen in the K/Tl and K/Cs ratios. Even if the ratios often scatter in a wide range within individual pegmatitic dykes, the data argue for continuous fractionation trends from the pegmatitic patches to the spodumene bearing pegmatites. Li concentrations in muscovite are 21–478 ppm in barren pegmatite, 72–533 ppm in leucogranites and 375–1,744 ppm in spodumene pegmatites (e.g. MALI, 2004). With respect to the pegmatite classification diagrams of ČERNÝ & BURT (1984) the muscovites from the barren pegmatites mostly plot in fields of muscovite-class pegmatites. Those from the leucogranites and spodumene pegmatites reach the fields of moderately evolved pegmatites, but they are far away from highly fractionated pegmatites. Garnet from barren pegmatits contains 78–130 ppm Li (e.g. HABLER et al., 2007), whereas garnet from spodumene pegmatites shows 220–1,200 ppm Li.

### Conclusion

Field observations, geochronological data and geochemical analyses indicate a cogenetic formation of barren pegmatites, spodumene bearing pegmatites and leucogranites within the Austroalpine basement during the Permian HT/LP event. Pegmatitic patches developed by anataxis of micaschists and paragneisses at ca. 0.4 GPa and 650° C. Melt accumulation caused formation of feldspar dominated pegmatites and some leucogranitic bodies. Spodumene pegmatites crystallised at conditions of ca. 3 GPa and 500° C. With respect to the country rocks Li, Sn, Tl and Ta concentrations in barren pegmatites are enriched by a factor of less than 10 and by a factor of 10 to 100 in the most evolved spodumene pegmatites. According to ČERNÝ & BURT (1984) they represent moderately fractionated pegmatites.

### References

- ČERNÝ, P. & BURT, D.M. (1984): Paragenesis, crystallochemical characteristics, and geochemical evolution of micas in granite pegmatites. – In: BULEY S.W. (Ed.): Micas. – Reviews in Mineralogy, **13**, 257–297, Mineralogical Society of America, Washington, D.C.
- GÖD, R. (1989): The spodumene deposit at "Weinebene", Koralpe, Austria. – Mineralium Deposita, **24**, 270–278, Berlin– Heidelberg.
- HABLER, G. & THÖNI, M. (2001): Preservation of Permo-Triassic low-pressure assemblages in the Cretaceous high-pressure metamorphic Saualpe crystalline basement (Eastern Alps, Austria). – Journal of metamorphic geology, **19**, 679–697, Oxford.
- HABLER, G., THÖNI, M. & MILLER, C. (2007): Major and trace element chemistry and Sm-Nd age correlation of magmatic pegmatite garnet overprinted by eclogite-facies metamorphism. – Chemical Geology, **241**, 4–22, Amsterdam.
- MALI, H. (2004): Die Spodumenpegmatite von Brettstein und Pusterwald (Wölzer Tauern, Steiermark, Österreich). – Joannea-Mineralogie, 2, 5–53, Graz.
- SCHUSTER, R. & STÜWE, K. (2008): Permian metamorphic event in the Alps. – Geology, **36**/8, 603–606, Boulder.
- STÖCKERT, B. (1987): Das Uttenheimer Pegmatitfeld (Ostalpines Altkristallin, Südtirol): Genese und alpine Überprägung. – Erlanger geologische Abhandlungen, **114**, 83–106, Erlangen.
- THÖNI, M., MILLER, C., ZANETTI, A., HABLER, G. & GOESSLER, W. (2008): Sm-Nd isotope systematics of high-REE accessory minerals and major phases: ID-TIMS, LA-ICP-MS and EPMA data constrain multiple Permian-Triassic pegmatite emplacement in the Koralpe, Eastern Alps. – Chemical Geology, 254, 216–237, Amsterdam.

## Quantifizierung von Reliefveränderungen mithilfe von multitemporalem terrestrischen Laserscanning – Fehlergrößen und Genauigkeitsanalysen am Fallbeispiel der Plassen-Südwand

In dieser Studie präsentieren wir verschiedene Ansätze zur Quantifizierung der rezenten Steinschlag- und Felssturzdynamik an der Plassen-Südwand bei Hallstatt, Oberösterreich. Im Februar 2014 ereignete sich hier ein großer initialer Felssturz mit einem Volumen von rund 135.000 m<sup>3</sup>, gefolgt von intensiven Nachstürzen. Aufgrund der tektonischen und gesteinsmechanischen Konstellation "Hart auf Weich" (POISEL & EPPENSTEINER, 1989) ist diese Region von Sturzprozessen besonders betroffen. Dabei werden weiche Gesteine der Werfener Zone, des Haselgebirges oder Mergel der Hallstätter Zone von spröden Kalken der Trias und des Jura überlagert. Resultierende Massenbewegungen umfassen sowohl Felsstürze in der kluftreichen Deckplatte der Kalke, als auch Rutschungen in der sich plastisch verformenden Unterlage, welche oft auch in Kombination auftreten (z.B. WEIDINGER & VORTISCH, 2005). Aufgrund dieser geologischen Merkmale wurden auch signifikante Gebirgsbewegungen des gesamten Plassen-Komplexes gemessen (MELZNER et al., 2015).

Die Studie basiert auf Differenzmodellierungen multitemporaler Laserscan-Daten. Als Grundlage dienen ein ALS- (*airborne laserscanning*, 8/2013) und fünf TLS-Datensätze (*terrestrial laserscanning*, 2014–2016), die auf jeweils vier Scan-Positionen beruhen. Da die Ausbruchnische aufgrund der eingeschränkten Sichtbarkeit nicht vollständig via TLS erfasst werden kann, beschränken sich die Analysen auf die akkumulierten Massen im Bereich des Schuttkegels. Für die Einschätzung der Fehlergrößen wurden verschiedene Registrierungsverfahren genutzt und Modellierungsansätze getestet.

Die Registrierung der TLS-Daten erfolgte zweistufig in der Software RiScan Pro. Für die Grobregistrierung wurden zunächst zehn an der Felswand verbaute Reflektoren verwendet, während die anschließende Feinregistrierung auf einem ICP

### Magdalena Krenn (1) & Joachim Götz (1)

(*iterative closest point*) Algorithmus basiert (*multi station adjustment*). Die Analysen zwischen den TLS-Datensätzen (TLS1–TLS5) in einem lokalen Koordinatensystem führten zu einer hohen Registriergenauigkeit (mittlere Standardabweichung der Normalvektoren von 211.038 triangulierten Flächen: 2,6 cm). Für die Registrierung der ALS-Daten mussten die DGPS-Positionen der Reflektoren hinzugezogen werden, deren geringere Lagegenauigkeit (< 1 m) eine reduzierte Registriergenauigkeit zur Folge hat (mittlere Standardabweichung der Normalvektoren von 7.583 triangulierten Flächen: 15 cm).

Für die Quantifizierung der Reliefveränderungen wurden zwei rasterbasierte (2.5D Volume, M3C2 (LAGUE et al., 2013) CloudCompare) sowie ein meshbasierter Ansatz (volume calculation, RiScan Pro) gewählt. Dabei werden bei der Berechnung des 2.5D Volume (CloudCompare) sowie bei der volume calculation (RiScan Pro) separate Erosions- und Akkumulationsvolumina zwischen zwei Oberflächen (vorher/nachher) ermittelt. RiScan Pro bietet die Möglichkeit mithilfe eines sogenannten "no-change-Schwellenwertes" Signal und Rausch zu differenzieren. Dieser definiert den minimalen vertikalen Abstand zwischen zwei Oberflächen, ab welchem Veränderungen auch tatsächlich als solche modelliert werden (kleine Unterschiede, auch zwischen unveränderten Oberflächen, sind dateninhärent, sogenanntes "Rauschen"). Es ist davon auszugehen, dass dieses Rauschen (neben zahlreichen weiteren Faktoren wie z.B. Auflösung, Registriergenauigkeit etc.) maßgeblich von der Geländerauigkeit gesteuert wird und ein sinnvoller Schwellenwert für rauere Oberflächen entsprechend höher gewählt werden sollte. Um diese Hypothese zu testen, wurden multitemporale TLS-Daten einer vergleichsweise "glatten" Gletscheroberfläche am Kitzsteinhorn (Schmiedinger-

<sup>(1)</sup> Universität Salzburg, Fachbereich Geographie und Geologie, Hellbrunnerstraße 34, 5020 Salzburg. magdalena.krenn@stud.sbg.ac.at


Abb. 1.

Vergleich der "no-change-Schwellenwerte" für die Plassen-Südwand (Quadrate) und den Kitzsteinhorn-Gletscher (Dreiecke) in Abhängigkeit der normierten Differenzvolumina aus Akkumulation und Erosion.

kees) hinzugezogen und die Reliefunterschiede mit sukzessiv wachsendem Schwellenwert berechnet. Abbildung 1 zeigt die normierten Differenzen aus Erosions- und Akkumulationsvolumina in Abhängigkeit des jeweiligen Schwellenwertes für beide Datensätze. Es wird deutlich, dass die Kurve Kitzsteinhorn früher abknickt und demnach – unter der Annahme eines gleichverteilten Rauschens ("scheinbare Erosion" = "scheinbare Akkumulation") – ein kleinerer Wert gewählt werden sollte. Ähnlich diesem Wert werden bei der Quantifizierung der Volumina mittels des M3C2-Algorithmus Distanzunsicherheiten berechnet, welche wiederum den Fehlerwert der ermittelten Volumina angeben (Tab. 1).

Alle drei angewandten Verfahren liefern ähnliche Sturzvolumina mit nur geringen Abweichungen.

Der Vergleich ALS-TLS1 lässt auf ein initiales Felssturzvolumen von ca. 130.000–142.000 m<sup>3</sup> schließen (Tab. 1). Die relativ große Unsicherheit dieses Wertes geht auf die geringere Auflösung des ALS-Datensatzes (1 m), die geringere Registriergenauigkeit sowie auf die Tatsache, dass der erste TLS-Datensatz nicht direkt nach dem Ereignis aufgezeichnet wurde, zurück.

Aufgrund der intensiven Nachstürze zwischen TLS1, TLS2 und TLS3 (durchschnittliche Nachsturzrate: 184 ± 7,8 m<sup>3</sup>/Tag über einen Zeitraum von 14 Monaten!), sind die Ergebnisse zuverlässiger einzustufen als jene zwischen TLS3, TLS4 und TLS5,

Volumen [m³] (Zeitraum)	RiScan	CloudCompare	CloudCompare
	(volume calc.)	(2.5D Volume)	(M3C2)
ALS-TLS1 (8/13-9/14)	132.419	141.815	135.103 ± 5.336
TLS1–TLS2 (9/14–9/15)	68.289	68.160	64.134 ± 2.030
TLS2–TLS3 (9/15–11/15)	12.416	12.809	$11.661 \pm 1.194$
TLS3-TLS4 (11/15-5/16)	165	137	$1.009 \pm 908$
TLS4–TLS5 (5/16–9/16)	2.869	3.080	511 ± 405
Σ ALS-TLS5	216.159	226.000	212.418 ± 9.871
Σ TLS1–TLS5	83.740	84.185	77.315 ± 4.536

die eine deutlich reduzierte Nachsturzaktivität zeigen (Tab. 1). Die geringen Differenzvolumina und die Tatsache, dass in diesem Zeitraum auch Sturzschutt auf dem Schuttkegel durch Muren remobilisiert wurde (erodiertes Volumen: ca. 590 m<sup>3</sup>), führen zu einer relativ größeren Beeinflussung der Ergebnisse durch das Datenrauschen und zu einer deutlich reduzierten Nachsturzrate von 4,8 ± 4,1 m<sup>3</sup>/Tag. Es scheint, die Felswand befindet sich derzeit wieder in einem vorübergehenden Gleichgewichtszustand, welcher die geringe Nachsturzaktivität zwischen TLS3 und TLS5 erklären würde.

Die Herausforderungen dieser Studie sind vielfältig und umfassen unter anderem i) die limitierte Verfügbarkeit geeigneter Scan-Positionen infolge der topografischen Gegebenheiten, ii) die damit verbundenen, relativ großen Scan-Distanzen, iii) Abschattungseffekte im Bereich der stark zerklüfteten Wand sowie die eingeschränkte Sichtbarkeit der Ausbruchnische. Für die weitere Beobachtung wäre es daher sinnvoll, den Bereich der Ausbruchnische durch photogrammetrisch berechnete Geländemodelle (Drohnenbefliegung) zu ergänzen. Um Aussagen über mögliche Auslösefaktoren der Sturzprozesse treffen zu können (z.B. Starkniederschläge), müsste das TLS-Monitoring zudem in kürzeren Zeitabständen durchgeführt werden.

#### Literatur

- LAGUE, D., BRODU, N. & LEROUX, J. (2013): Accurate 3D comparison of complex topography with terrestrial laser scanner: Application to the Rangitikei canyon (NZ). – ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing, **82**, 10–26, Amsterdam.
- MELZNER, S., OTTOWITZ, D., PFEILER, S., MOSER, M., MOTSCHKA, K., LOTTER, M. & WIMMER-FREY, I. (2015): A multidisciplinary methodology for the characterization of a large rock spread in the Northern Calcareous Alps (Eastern Alps). – Geophysical Research Abstracts, **17**, EGU2015-10658-2, Katlenburg-Lindau.
- POISEL, R. & EPPENSTEINER, W. (1989): Gang und Gehwerk einer Massenbewegung Teil 2: Massenbewegungen am Rand des Systems "Hart auf Weich". – Felsbau, **7**/1, 16–20, Essen.
- WEIDINGER, J. & VORTISCH, W. (2005): Massenbewegungen im System Hart-auf-Weich zwischen Traunstein und Dachstein (OÖ, STMK) und ihre anthropogene Beeinflussung. – Gmundner Geo-Studien, **3**, 75–94, Gmunden.

Tab. 1. Volumen des initialen Felssturzes sowie der Nachstürze im Zeitraum 2014 bis 2016.

### Definition der internationalen Rhätium-Basis (GSSP) am Steinbergkogel bei Hallstatt – Status Quo

LEOPOLD KRYSTYN (1)

Ein alter, im 19. Jahrhundert zum Stollenausbau des Salzbergwerkes angelegter Steinbruch am Steinbergkogel bei Hallstatt (OÖ) wurde nach Wiederaufschließung und detaillierter fazieller, bio-, chemo- und magnetostratigrafischer Analyse als GSSP-Kandidat (GSSP = Global Stratigraphic Section and Point) für die international definierte Grenzziehung zwischen der Norischen und Rhätischen Stufe in der oberen Trias vorgeschlagen (KRYSTYN et al., 2007). Als definierender Marker wurde dabei, einem früheren Vorschlag von KOZUR (1996) folgend, der Conodont Misikella posthernsteini verwendet und diese Vorgangsweise von der Norian-Rhaetian Boundary Working Group ("Task Force") der International Commission on Stratigraphy (ICS) später bestätigt (KRYSTYN, 2010).

Zwischenzeitlich durchgeführte Untersuchungen im Lagonegro-Becken Süditaliens (Raum Potenza) haben zur Dokumentation und nachfolgenden Präsentation eines weiteren GSSP-Kandidaten geführt (GIORDANI et al., 2010; RIGO et al., 2015). Dieses Profil nahe der Ortschaft Pignola ist beträchtlich mächtiger als jenes am Steinbergkogel, leider aber praktisch makrofossilleer. Dafür führt es Radiolarien, die eine Korrelierung mit kieseligen Tiefwassersedimenten des Panthalassa Ozeans (triassischer Vorläufer des Pazifiks) erlauben, welche am Steinbergkogel fehlen. Daher ist eine biostratigrafische Korrelation zwischen Pignola und dem Steinbergkogel nur mit Conodonten möglich, diese wird aber durch unterschiedliche Definition und Artabgrenzung des Leitconodonten Misikella posthernsteini in GIORDANI et al. (2010) erschwert. Die abweichende Artfassung dieses Conodonten im Pignola-Profil führt auch zu verschiedenen

Reichweiten der Art in den beiden GSSP-Kandidaten und damit zu Unklarheiten in ihrem zeitlichen Vergleich und insbesondere der Lage der Grenze in den Profilen selbst. So ergibt sich die paradoxe Situation, dass trotz Präsenz des grenzdefinierenden Markers in beiden Profilen eine Korrelation zwischen ihnen derzeit nur mittels Magnetostratigrafie möglich scheint (RIGO et al., 2015).

Im Laufe des heurigen Jahres soll innerhalb der internationalen Task Force eine Klärung und Lösung dieser taxonomischen Streitfrage herbeigeführt werden und zeitnah endgültig über die Positionierung der Grenze und Lokalisierung des GSSP entschieden werden.

### Literatur

- GIORDANI, N., RIGO, M., CIARASPICA, G. & BERTINELLI, A. (2010): New biostratigraphical constraints for the Norian/Rhaetian boundary: data from Lagonegro basin. – Lethaia, **43**, 573– 586, London.
- KOZUR, H. (1996): The position of the Norian-Rhaetian boundary. – Berichte-Reports, Geologisch-Paläontologisches Institut und Museum der Christian-Albrechts-Universität Kiel, **76**, 27–35, Kiel.
- KRYSTYN, L. (2010): Decision report on the defining event for the base of the Rhaetian stage. – Albertiana, **38**, 11–12, Cortland.
- KRYSTYN, L., BOUQUEREL, H., KUERSCHNER, W., RICHOZ, S. & GALLET, Y. (2007): Proposal for a candidate GSSP for the base of the Rhaetian stage. New Mexico Museum of Natural History and Science, Bulletin **41**, 189–199, Albuquerque.
- RIGO, M., BERTINELLI, A., CONCHERI, G., GATTOLIN, G., GODFREY, L., KATZ, M.E., MARON, M., MIETTO, P., MUTTONI, G., SPROVIERI, M., STELLIN, F. & ZAFFANI, M. (2015): The Pignola-Abriola sections (southern Apennines, Italy): a new GSSP candidate for the base of the Rhaetian stage. – Lethaia, **49**/3 (2016), 287–306, London. DOI: https://dx.doi.org/10.1111/let.12145

### Zur Abgrenzung und Definition der Kalkalpinen Deckensysteme (Ostalpen, Österreich)

GERHARD W. MANDL (1), RAINER BRANDNER (2) & ALFRED GRUBER (1)

Die Nördlichen Kalkalpen bestehen aus einem komplexen Deckenstapel, in dem nach einem Vorschlag von HAHN (1912, 1913a, b) jeweils mehrere Decken zu den drei Deckensystemen Bajuvarikum, Tirolikum und Juvavikum zusammengefast werden. Dieses Prinzip hat TOLLMANN (zuletzt 1985) weiter ausgebaut. Seither haben Neukartierungen umstrittener Gebiete und die zeitliche Einordnung der Deformationsgeschichte etliche Kritikpunkte am Modell Tollmanns aufgezeigt. Es war daher zu klären, ob für diese drei traditionellen Begriffe eine moderne Definition geschaffen werden kann, die ihre Weiterverwendung als geodynamisch sinnvolle Untereinheiten des Ostalpins ermöglicht.

In unserem vorliegenden **Vorschlag** (Abb. 1) ist das wesentliche Kriterium die zeitliche Einordnung der Deckenbewegungen anhand syn- und posttektonischer Sedimentgesteine. Um dieses Gliederungsprinzip anwenden zu können, ist es allerdings notwendig, große Teile der bisher als Hochbajuvarikum bezeichneten Decken dem Tirolikum zuzuschlagen. Auf die eventuelle Notwendigkeit solcher Änderungen hat aber bereits HAHN (1912: 344) hingewiesen.

Juvavisches Deckensystem: Decken und Großschollen permotriassischer bis unterjurassischer Gesteine sowohl des tieferen Schelfs (Hallstätter Fazies im weitesten Sinne), als auch vom Randbereich angrenzender Karbonatplattformen, die erstmals während des Jura aus ihrem sedimentären Verband tektonisch herausgetrennt, gestapelt und während des Oxfordiums in die Radiolaritbecken der tief abgesunkenen Triasplattformen des künftigen Tirolikums transportiert wurden. Die neu entstandenen Lagebeziehungen wurden durch die nachfolgenden Becken-/Plattformkarbonate (Oberalm-Formation/Plassenkalk) überdeckt. Eine erneute Mobilisation mancher dieser Decken oder Schollen samt ihrer oberjurassisch-frühkretazischen Bedeckung erfolgte während der Unterkreide (Platznahme auf Rossfeld-Formation).

Tirolisch-Norisches Deckensystem: Großeinheit, die im Grenzbereich Albium/Cenomanium von ihrem Basement abgeschert und auf Tannheim-/Losenstein- bzw. Lech-Formation des künftigen Bajuvarikums überschoben wurde. Der tektonische Kontakt wird ab dem Cenomanium durch die Branderfleck-Formation und in Folge durch die Gosau-Gruppe überdeckt. Der interne Schuppen- und Deckenbau des Tirolikums erfolgte erst "nachgosauisch". Im Südwesten wurde dabei das unterlagernde Bajuvarikum miterfasst und erneut an die Oberfläche gebracht.

**Bajuvarisches Deckensystem:** Dieses überschiebt im Norden **nachgosauisch** während des **Lutetiums** die Gesteine des Rhenodanubischen Deckensystems. Die Hangendgrenze bildet das überlagernde Tirolisch-Norische Deckensystem, durch dessen Überschiebung die Sedimentation der Tannheim-/Losenstein-Formation (im Westen der Lech-Formation) auf weiten Strecken beendet worden war. Nur in nicht überschobenen Randbereichen, insbesondere in der Kalkalpinen Randschuppe ("Randcenoman") lief die Sedimentation ins Cenomanium, z.T. bis ins Turonium (und jünger?) weiter.

#### Literatur

- HAHN, F.F. (1912): Versuch zu einer Gliederung der austroalpinen Masse westlich der österreichischen Traun. – Verhandlungen der k. k. Geologischen Reichsanstalt, **1912**/15, 337–344, Wien.
- HAHN, F.F. (1913a): Grundzüge des Baues der nördlichen Kalkalpen zwischen Inn und Enns: I. Teil. – Mitteilungen der Geologischen Gesellschaft in Wien, **6**, 238–357, Wien.
- HAHN, F.F. (1913b): Grundzüge des Baues der nördlichen Kalkalpen zwischen Inn und Enns: II. Teil. – Mitteilungen der Geologischen Gesellschaft in Wien, **6**, 374–501, Wien.
- TOLLMANN, A. (1985): Geologie von Österreich. Band II: Außerzentralalpiner Anteil. – XIII + 710 S., Wien (Deuticke).

(1) Geologische Bundesanstalt, Neulinggasse 38, 1030 Wien. *gerhard.mandl@geologie.ac.at* 

<sup>(2)</sup> Universität Innsbruck, Institut für Geologie und Paläontologie, Innrain 52f, 6020 Innsbruck.



CIOS CIOS

### Anwendung verschiedener geophysikalischer Methoden im Permafrost zur "active layer" Bestimmung am Beispiel Hoher Sonnblick

### Stefan Pfeiler (1), Mathias Steiner (2), David Ottowitz (1), Theresa Maierhofer (2, 3), Birgit Jochum (1), Stefan Reisenhofer (3) & Adrian Flores-Orozco (2)

Im Rahmen des AtmoPerm (Atmosphere-permafrost relationship in the Austrian Alps – atmospheric extreme events and their relevance for the mean state of the active layer) Projektes, finanziert vom Earth System Science Programm der Österreichischen Akademie der Wissenschaften (ÖAW), werden von der Geologischen Bundesanstalt (GBA) und der Technischen Universität Wien (TU) geophysikalische Messungen mit Unterstützung der Zentralanstalt für Meteorologie und Geodynamik (ZAMG) am Hohen Sonnblick in etwa 3.100 m Seehöhe durchgeführt (Abb. 1, 2).

Das Ziel der Messungen ist die Bestimmung der Mächtigkeit der Auftauschicht (active layer) im Permafrost im jahreszeitlichen Wechsel. Die physikalischen Eigenschaften des active layer sind u.a. von der Bodentemperatur und dem Vorhandensein von flüssigem bzw. gefrorenem Wasser abhängig. Die geophysikalischen Untersuchungen umfassen ein permanentes geoelektrisches Monitoring (GBA) und als Wiederholungsmessungen (TU) Elektromagnetik, Bodenradar und Seismik. Zur Unterstützung der Interpretation stehen im Rahmen einer Kooperation mit der ZAMG umfangreiche Bodentemperaturdaten zur Verfügung. Anhand der bereits nach dem ersten Projektjahr vorhandenen umfangreichen Datenbasis werden Ergebnisse der verschiedenen geophysikalischen Messungen gemeinsam interpretiert.

Dabei zeigen im Besonderen Daten der geoelektrischen und seismischen Messungen Resultate, die in kombinierter Interpretation (Abb. 3) zu einem besseren Verständnis der vorherrschenden Untergrundverhältnisse führen und den jahreszeitlichen Wechsel von gefrorenem/aufgetautem Untergrund verbessert darstellen.

Abb. 1. (unten) Lage der geophysikalischen Messprofile am Hohen Sonnblick.



(1) Geologische Bundesanstalt, Neulinggasse 38, 1030 Wien. stefan.pfeiler@geologie.ac.at

- (2) Technische Universität Wien, Forschungsgruppe Geophysik, Gußhausstraße 27–29, 1040 Wien.
- (3) Zentralanstalt für Meteorologie und Geodynamik, Forschungsgruppe Klimafolgen, Hohe Warte 38, 1190 Wien.

# Analysis and prediction of the runout of rock slides and rock avalanches

### Alexander Preh (1)

A rock slope failure leads to the detachment of a rock mass consisting of a mass of blocks. During the last few years continuum mechanics as well as discontinuum mechanics numerical codes have been developed for modelling the runout of these masses. The study presents two important models of these categories, the Distinct Element Model PFC (Itasca Consulting Group) and the continuum mechanics numerical code DAN3D (MCDOUGALL & HUNGR, 2004).

Whereas DAN (HUNGR, 1995; MCDOUGALL & HUNGR, 2004) is a numerical code explicitly developed for the runout analysis of rapid, flow-like landslides (e.g. rock mass fall and debris flows), the DEM (CUNDALL & STRACK, 1979) code PFC3D is designed for a broad range of application and has to be modified for runout modelling. In particular, the default local damping (proportional to acceleration) has to be replaced by a viscous damping activated at each particle-contact and an additional rotational damping has to be implemented to prevent extensive runouts.

The main difference between the two approaches depends on how the heterogeneous and complex landslide material may be considered. DAN and DAN3D is based on the concept of "equivalent fluid", defined by HUNGR (1995) and used

tacitly by a number of other workers (e.g. SOUSA & VOIGHT, 1991; RICKENMANN & KOCH, 1997). In this framework, the heterogeneous and complex landslide material is modelled as a hypothetical material, which is governed by simple internal and basal rheological relationships that may be different from each other. The internal rheology is assumed to be frictional ("equivalent fluid" is therefore somewhat of a misnomer) and is governed by only one parameter, the internal friction angle. The shear resistance at the base of the flow is modelled by means of an open rheological kernel, which allows the use of frictional (with constant pore-pressure ratio), plastic, Bingham, Voellmy and other rheologies.

By contrast, PFC models the moving mass as an assembly of discrete particles. Although the particle assemblies used in PFC are closer to the nature of a fractured rock mass, the material is, however, hypothetical. For example, it is typically necessary to perform an upscaling of the block size distribution of the landslide material to a computable level. Therefore, both approaches re-

Text-Fig. 1.

Prediction of the runout of potential rock slides at Rotes Kögele (Hallstatt) using the Particle Flow Code (PFC) (MAIR AM TINKHOF, 2007).





(1) Technische Universität Wien, Institut für Geotechnik, Karlsplatz 13, 1040 Wien. alexander.preh@tuwien.ac.at



quire an empirical calibration procedure, in which actual landslides of a given type are subjected to trial-and-error back-analysis. The results are judged in terms of their ability to reproduce the bulk external behaviour of a prototype event, including the travel distance and duration and the spatial distribution of velocities and flow/deposit depths. The calibrated parameters are considered as apparent, rather than actual, material properties.

Two typical case studies are presented to demonstrate the capabilities of the two calculation approaches. The prediction of the runout of potential rock slides at Rotes Kögele (Text-Fig. 1) and the back-calculation of a recent rock mass fall at Mount Plassen (Text-Fig. 2).

### References

- CUNDALL, P.A. & STRACK, O.D. (1979): A Discrete Numerical Model for Granular Assemblies. – Géotechnique, **29**, 47–65, London.
- HUNGR, O. (1995): A model for the runout analysis of rapid flow slides, debris flows, and avalanches. Canadian Geotechnical Journal, **32**, 610–623, Ottawa.
- MAIR AM TINKHOF, K. (2007): Numerische Untersuchung von Felsmassenstürzen vom Roten Kögele am Hallstätter Salzberg mittels PFC3D. – Master thesis, TU Wien, 156 S., Wien.
- MCDOUGALL, S. & HUNGR, O. (2004): A model for the analysis of rapid landslide motion across three-dimensional terrain. – Canadian Geotechnical Journal, **41**, 1084–1097, Ottawa.
- RICKENMANN, D. & KOCH, T. (1997): Comparison of debris flow modelling approaches. – In: CHEN, C.L.: Debris-flow Hazards Mitigation: Mechanics, Prediction and Assessment. – Proceedings of the 1<sup>st</sup> International Conference on Debris-flow Hazards Mitigation, San Francisco, CA, 576–585, New York.
- SOUSA, J. & VOIGHT, B. (1991): Continuum simulation of flow failures. Géotechnique, **41**/4, 515–538, London.

### Eine <sup>13</sup>C<sub>carb</sub> Kohlenstoff-Isotopenstratigrafie des kalkalpinen Karniums – Beispiel einer multi-institutionellen Kooperation zwischen GBA und österreichischen Universitäten

Sylvain Richoz (1, 2), Leopold Krystyn (3) & Richard Lein (4)

Die karnische  $\delta^{13}$ C Kurve wurde lang als unspektakulär beschrieben (KORTE et al., 2005; TANNER, 2010), da bisherige  $\delta^{13}C_{carb}$ -Isotopiestudien keine, oder nur angedeutete negative Exkursionen zeigten (HORNUNG & BRANDNER, 2005; KORTE et al., 2005; HORNUNG et al., 2007; PRETO et al., 2009). Neuerdings dokumentierten DAL CORSO et al. (2012) aber eine markante und eindeutige negative Exkursion in  $\delta^{13}C_{toc}$ ,  $\delta^{13}C_{n-alkanes}$ ,  $\delta^{13}C_{wood}$  und  $\delta^{13}C_{isoprenoid}$  im hohen unteren Karnium der Dolomiten (an der Basis der Austrotrachyceras austria*cum* Zone = Julium 2), die sie mit dem Vulkanismus des Wrangellia Terrane (Ost Alaska) in Zusammenhang brachten. Die gleiche negative organische C-Exkursion fanden DAL CORSO et al. (2015) an der Basis des Juliums 2 auch im Raum Lunz und in einer Bohrung am Balaton sowie SUN et al. (2016) in Südchina. Auch MUTTONI et al. (2014) beschrieben in einem unterkarnischen Profil in Griechenland eine negative Exkursion in  $\delta^{13}C_{\text{carb}}$  , allerdings schlecht datiert und daher schwer korrelierbar. Wir stellen hier zwei neue C-Isotopen-Profile aus dem Juvavikum vor, eine von der Aflenzer Bürgeralpe (RICHOZ et al., 2016) und eine vom Leckkogel (Gosaukamm), die im Rahmen von Kartierungsbzw. stratigrafischen Ergänzungsarbeiten in Kooperation mit der Geologischen Bundesanstalt (GBA) durchgeführt wurden. Von diesen Daten erhoffen wir auch neue Erkenntnisse zur Problemlösung der entlang der untersuchten Zeitachse scheinbar unterschiedlichen Verhältnisse von organischem und anorganischem Kohlenstoffreservoir zu erlangen.

Beide Profile bestehen im unteren Karnium aus Leckkogel-Schichten mit detritusreichen Karbonatkomplexen und drei zwischengeschalteten terrigenreichen Abschnitten (Ti 1–3), in denen Riffkalkblöcke in Cipitfazies sowie olistolithische Großschollen schwimmen. Die rund 300 m mächtigen Leckkogel-Schichten des hohen unteren Karniums kommen gleichermaßen in Aflenz und am Leckkogel vor. Sie werden in Aflenz im oberen Karnium zunächst von einer 100 m mächtigen, lithologisch distinkten Plattenkalkserie überlagert. Der Plattenkalk (informell als Jauring-Formation bezeichnet) stellt ein bislang unbeschriebenes Schichtglied in der oberkarnischen Schichtfolge des alpinen Juvavikums dar und wird von Gesteinsäquivalenten der Pötschen-Formation in einer Mächtigkeit von 250 m überlagert. Darüber folgt der eigentliche Aflenzer Kalk, der entgegen früherer Ansichten sicher erst im Norium einsetzt. Am Leckkogel ist das obere Karnium durch grobkörnige Bankdolomite vertreten, die nicht beprobt wurden. Durch die finanzielle Beteiligung der GBA konnten über 300 Proben bearbeitet und erstmals eine das gesamte Karnium umfassende C-Isotopenkurve erstellt werden.

Die erste scharfe negative Exkursion mit einer Amplitude von 2 ‰ am Leckkogel und 2,8 ‰ in Aflenz (Abb. 1) ist in beiden Profilen sehr ähnlich und erlaubt eine gute Korrelation. Am Leckkogel ist die Exkursion auf 2 m beschränkt und mit einer kleinen dünnen Mergelkalklage verbunden, während sie in Aflenz sich über 3 m verteilt und ein Terrigenintervall umrahmt, das nach der stratigrafischen Position als Äquivalent der Partnach-Schichten des Tirolikums und Bajuvarikums interpretiert werden könnte. Die gleichermaßen auffällige negative Exkursion am Leckkogel und in Aflenz signalisiert zumindest eine regionale Bedeutung. Sollte diese Exkursion tatsächlich ein Partnach-Äquivalent repräsentieren, könnte sie dazu beitragen, letzteres auch in terrigenfreie Abfolgen (z.B. Hallstätter Buntfazies) zu korrelieren.

Nach dieser negativen Exkursion 1 ist die Kurve wieder sehr ähnlich in beiden Lokalitäten mit Werten, die langsam niedrig werden, bis ein Mi-

(1) Universität Graz, Institut für Erdwissenschaften, Heinrichstraße 26, 8020 Graz. sylvain.richoz@uni-graz.at
 (2) Lunds Universitet, Naturvetenskapliga fakulteten, Geologiska institutionen, Sölvegatan 12, 22362 Lund, Sverige.
 (3) Universität Wien, Institut für Paläontologie, Althanstraße 14, 1090 Wien.
 (4) Universität Wien, Department für Geodynamik und Sedimentologie, Althanstraße 14, 1090 Wien.

Y

nimum am obersten Teil des ersten Terrigenintervalls (Abb. 1) erreicht ist. Nach HORNUNG et al. (2007) sind solche Werte für die oberste *aonoides* Zone und die *austriacum* Zone typisch, und diese negative Exkursion 2 entspricht mit großer Wahrscheinlichkeit jener im Bereich des Reingraben Events des Reiflinger Beckens. Der Anstieg nach dem Minimum ist progressiv in Aflenz, aber scharf am Leckkogel. Dies spricht für eine Lücke

Lacian

**Tuvalian 3** 

am Leckkogel, in der die Sedimente mit ansteigenden Isotopenwerten fehlen würden. Die Werte in beiden Lokalitäten zeigen anschließend rund um das zweite Terrigenintervall ein Plateau mit zwei Maxima.

In Aflenz folgt oberhalb des Terrigenintervalls 3 (schwarze Schiefertone mit Gleitblöcken) in den ersten tuvalischen Kalken eine starke negative Exkursion (3) mit über 3 ‰ Amplitude, welche über 20 m anhält. Die Julium/Tuvalium Grenze selbst liegt somit unterhalb dieser markanten negativen Exkursion (Abb. 1). Der negativste Punkt ist unterhalb eines im Straßenaufschluss gut sichtbaren sedimentären Onlaps erreicht, darüber folgt eine starke positive Exkursion mit einem Plateau um 4,7 ‰ an der Basis des Plattenkalkes der "Jauring-Formation". Die Werte sinken anschließend zu einem zweiten Plateau um 3,8 ‰ mit einem kurzen Relaunch bis 4,7 ‰ am Top der "Jauring-Formation". Die "Pötschen-Formation" fängt



mit Werten um 3 ‰ an, danach sinken sie über 35 m bis 0,4 ‰ ab. Diese in der Amplitude sehr auffällige Exkursion 4 (Abb. 1) ist bis jetzt unbeschrieben, ereignet sich aber in einem C-isotopisch weltweit bislang kaum untersuchten Zeitabschnitt. Leider fehlt eine Dokumentation des nachfolgenden Wiederanstieges, er sollte innerhalb der nicht aufgeschlossenen Zone liegen. Weitere Studien in anderen Profilen werden zeigen, ob dieses negative Intervall real oder möglicherweise ein diagenetisches Artefakt ist. Der obere Teil des Profils zeigt kaum Änderungen mit stabilen C-Werten um 2 ‰ (Abb. 1). Eine 0,5 ‰ positive Exkursion an der Karnium/Norium Grenze, die manchmal zitiert (z.B. TANNER, 2010), aber auch bezweifelt (RICHOZ et al., 2007) wird, ist hier jedenfalls nicht zu sehen. Der Grenzbereich ist aber tektonisch und diagenetisch überprägt, weshalb diese Exkursion verschleiert sein könnte.

Unsere neue karnische C<sub>carb</sub>-Isotopie Kurve weist bedeutende Änderungen zu den bisher bekannten Darstellungen auf, wobei als Hauptergebnis die Dokumentation von insgesamt vier, zwei unter- und zwei oberkarnischen, negativen Exkursionen zu erwähnen ist. In Abhängigkeit der noch zu klärenden Frage ihrer überregionalen Bedeutung könnten sie vor allem für stratigrafische Korrelationen sehr nützlich sein.

Wir danken den Herren Gerhard W. Mandl und Gerhard Bryda (beide GBA) für technische Unterstützung und befruchtende Diskussionen und der Direktion der GBA für die exzellente Kooperation.

#### Literatur

- DAL CORSO, J., MIETTI, P., NEWTON, R.J., PANCOST, R.D., PRETO, N., ROGHI, G. & WIGNALL, P.B. (2012): Discovery of a major negative d13C spike in the Carnian (Late Triassic) linked to the eruption of Wrangellia flood basalts. – Geology, **40**, 79–82, Boulder.
- DAL CORSO, J., GIANOLLA, P., NEWTON, R.J., FRANCESCHI, M., ROGHI, G., CAGGIATI, M., RAUCSIK, B., BUDAI, T., HAAS, J. & PRETO, N. (2015): Carbon isotope records reveal synchronicity between carbon cycle perturbation and the "Carnian Pluvial Event" in the Tethys realm (Late Triassic). – Global and Planetary Change, **127**, 79–90, Amsterdam.
- HORNUNG, T. & BRANDNER, R. (2005): Biochronostratigraphy of the Reingraben Turnover (Hallstatt Facies Belt): Local black shale events controlled by regional tectonics, climatic change and plate tectonics. – Facies, **51**, 475–494, Berlin– Heidelberg.
- HORNUNG, T., KRYSTYN, L. & BRANDNER, R. (2007): A Tethys-wide mid-Carnian (Upper Triassic) carbonate productivity decline: Evidence for the Alpine Reingraben Event from Spiti (Indian Himalaya)? – Journal of Asian Earth Sciences, **30**/2, 285–302, Amsterdam.
- KORTE, C., KOZUR, H.W. & VEIZER, J. (2005): d13C and d18O values of Triassic brachiopods and carbonate rocks as proxies for coeval seawater and palaeotemperature. Paleogeography, Paleoclimatology, Paleoecology, 226, 287–306, Amsterdam.
- MUTTONI, G., MAZZA, M., MOSHER, D., KATZ, M.E., KENT, D.V. & BALINI, M. (2014): A Middle–Late Triassic (Ladinian– Rhaetian) Carbon and Oxygen isotope record from the Tethyan Ocean. – Paleogeography, Paleoclimatology, Paleoecology, **399**, 246–259, Amsterdam.
- PRETO, N., SPÖTL, C. & GUAIUMI, C. (2009): Evaluation of bulk carbonate δ13C data from Triassic hemipelagites and the initial composition of carbonate mud. Sedimentology, **56**, 1329–1345, Oxford.
- RICHOZ, S., KRYSTYN, L. & SPÖTL, C. (2007): Towards a carbon isotope reference curve of the Upper Triassic. – New Mexico Museum of Natural History and Science, Bulletin **41**, 366–367, Albuquerque.
- RICHOZ, S., KRYSTYN, L. & LEIN, R. (2016): Detailstratigrafie der Sedimente des Karnium der Aflenzer Bürgeralpe. – Arbeitstagung 2015 der Geologischen Bundesanstalt, Geologie der Kartenblätter GK50 ÖK 103 Kindberg und ÖK 135 Birkfeld, Mitterdorf im Mürztal, 2. Auflage, 103–110, Wien.
- SUN, X.L., WIGNALL, P.B., JOACHIMSKI, M.M., BOND, D.P.G., GRASBY, S.E., LAI, X.L., WANG, L.N., ZHANG, Z.T. & SUN, S. (2016): Climate warming, euxinia and carbon isotope perturbations during the Carnian (Triassic) crisis in South China. – Earth Planetary Science Letters, **444**, 88–100, Amsterdam.
- TANNER, L.H (2010): The Triassic isotope record. In: LUCAS, S.G. (Ed.): The Triassic Timescale. – Geological Society of London Special Publication, **334**, 103–118, London.

### Lateral conductivity variations within Austria and its surroundings by means of extrapolating airborne electromagnetic data to hydrogeological units

INGRID SCHATTAUER (1), ALEXANDER RÖMER (1), RACHEL L. BAILEY (2, 3), ROMAN LEONHARDT (3), GERHARD BIEBER (1), ROBERT SUPPER (1) & KLAUS MOTSCHKA (1)

### Introduction

The generation of a map of lateral conductivity variations was a task within the framework "GEO-MAGICA", a FFG project coordinated by ZAMG (Zentralanstalt für Meteorologie und Geodynamik). The aim of this project is to develop a near real-time model of geomagnetically induced currents in mid-latitude Central Europe (BAILEY, in press). It is carried out due to the fact, that large currents also pose a threat to Austria, not only in high-latitude countries, where geomagnetic storms are more powerful and have potentially more dangerous consequences.

Geomagnetically induced currents (GIC) are a consequence of clouds of energetic particles from the sun interacting with the earth's magnetic field and causing geomagnetic storms and rapid geomagnetic variations, which induce geoelectric fields in the earth's surface (BOTELER & PIRJOLA, 1998). This leads to the development of electric potentials over large distances, which would dissipate of their own accord. However, with the arrival of extensive electrical infrastructure, additional paths of least resistance for direct current flow have been created, and currents will flow through the power grid or gas pipelines (LEHTINEN & PIRJOLA, 1985; PIRJOLA et al., 2000). With transformers as the grid's earthing points, this leads to quasidirect currents passing through the transformers, which in the long and the short term can cause transformer damage. In order to study, model and predict the possible GIC impact, knowledge of the variation of ground conductivity is necessary.

Within this abstract the challenging aspects of generating a map with representative conductivities all over Austria and parts of Europe are described below:

## Airborne electromagnetic measurements and data processing

Following the approach of BEAMISH (2012), airborne electromagnetic data, available from more than 50 airborne electromagnetic campaigns from the Geological Survey of Austria, acquired between 1980 and 2014, were partly reprocessed with "state of the art"-technology. The results are conductivity data sets of homogenous half-space inversion results as well as conductivity multi-layer information of the survey areas. In the next step, these data sets were correlated with a hydrogeological map of Austria in a scale of 1:500.000 and average conductivity values were derived for each of the hydrogeological units. Using available geological maps from outside of Austria, conductivity information was extrapolated to a rectangle, including Austria and its European surrounding, resulting in a high-resolution subsurface conductivity map of this area.

The Austrian airborne electromagnetic system is a frequency domain system. The main part of the system consists of a tube (also called "bird"), which is towed on a cable 30 m below a helicopter. Inside the probe, there are several transmitting coils as well as receiving coils in different geometric arrangements (co-axial and co-planar loops). The transmitting coils generate an electromagnetic alternating field with the frequencies (current system) of 340 Hz, 3,200 Hz, 7,190 Hz and 28,850 Hz. This primary field induces eddy currents inside conductive subsurface layers. The corresponding (secondary) magnetic field generated by these currents induces a current in the receiver coils. Based on the amplitude and the phase shift of the secondary field relatively to the primary field, the electrical conductivity of the subsurface can be determined. The measuring rate is 10 measurements per second (resulting in a 3 m measuring

<sup>(1)</sup> Geologische Bundesanstalt, Neulinggasse 38, 1030 Wien. ingrid.schattauer@geologie.ac.at

<sup>(2)</sup> Universität Wien, UZA II, Althanstraße 14, 1090 Wien.

<sup>(3)</sup> Conrad Observatorium, Zentralanstalt für Meteorologie und Geodynamik, Hohe Warte 38, 1190 Wien.

point distance). Flight-lines are usually parallel straight lines, separated by 200 or 100 m (or less). It is tried to keep the height of the bird constant at 50–70 m above ground.

Airborne geophysical measurements in Austria are performed since 1980 with varying technical modalities. Since 2002 four frequencies (instead of two) and modern GPS measurements were available, therefore datasets from 2002 to now were reprocessed using the same inversion- and model parameters. Fortunately, aero-electromagnetic data for all hydrogeological units exist within this period. Optimal inversion and model parameters were determined in a prior test phase.

The Inversion program EM1DFM (Version 1.0, University of British Columbia, 2000) which was used constructs one-dimensional models of conductivity at each measurement point. For a layered model it is necessary to pre-define the depth of each interface. For the task required in this work, a homogenous half-space is assumed. Interpolating the models of each sounding results in a conductivity distribution of around 50 m to 100 m thick subsurface layers inside the survey areas. The variation of volume of the captured layer depends on the conductivity of the subsurface and the height of the measurement system above the ground. Other factors influencing the thickness of the investigated layer are the radiated frequencies, which are constant in this setting.

### **Geological maps**

The decision, which kind of maps, representing the subsurface conditions, are most suitable for the purpose of generalising airborne electromagnetic data, is quite essential due to the fact that in this process conductivity samples, gathered in one polygon of a geological unit, are supposed to match under the terms of any other polygon within this unit. For this requirement the Hydrogeological map of Austria (SCHUBERT, 2003) in the scale of 1:500.000 was found to be most suitable, because hydrogeological parameters as grain size and water content are determining factors, influencing the range of measured conductivities. This map considers both: hydrological and lithological aspects. For the surrounding of Austria, the Hydrogeological map of Europe at a scale of 1:1.500.000 (DUSCHER & GÜNTHER, 2014) was used. The scale of this map is high compared to the Austrian map and therefore the classification is more generalised. For this reason, the statistical power of the mean values, within the hydrogeological units, differs outside of Austria. The validation and improvement of the results will be object in further investigations during the project running time.

#### **Resolution of electromagnetic data**

Another aspect which needs to be considered, is the resolution of data of the geological map used and of the resulting conductivity map. The first two points were predetermined within this process, but the resolution of the conductivity map which was elaborated in Latitude/Longitude/Conductivity for the implementation of the GIC model had to be reviewed. The limiting factor was the maximum number of data points, which can be handled by Software generating a conductivity-model and a GIC-model. On the other hand, the resolution was supposed to be as high as possible, in order to get conductivity values of all hydrogeological units. This request was satisfied by the sampling rate of 500 m. To exemplify this issue Text-Figure 1 shows the difference between a sampling rate, which is too low (about 6,000 m) and a matching sampling rate (about 500 m).

#### Text-Fig. 1.

Difference between a sampling rate (red points) which is too low (1a – about 6,000 m) and a matching sampling rate (1b – about 500 m); Map: conductivities in hydrogeological zones of Austria.





Text-Fig. 2. High-resolution subsurface conductivity model of Austria and its surroundings.

### Result: Conductivity average values within hydrogeological units derived from AEM-Data

As result conductivity average values within hydrogeological units were derived (Text-Fig. 2). Currently this model is used for the purpose of incorporation to a near real-time model of geomagnetically induced currents in mid-latitude Central Europe.

### Conclusions

Steady advances in hardware and improving data acquisition methods lead to accelerated increase of scientific data. While there is a wide range of problem statements and possibilities for using the data, in the best case it may contribute to socio-economic benefit. Helicopter surveys in particular produce huge datasets covering large areas, usually provided for different standard analysis. The herein presented project with its goal concerning the creation of a large-scale conductivity map for implementation in a model of geomagnetically induced currents shows a new application and the value of aeroelectromagnetic data gathered recently and also over a long period in the past for an important infrastructural problem.

#### References

- BAILEY, R.L. (in press): Modelling geomagnetically induced currents in mid-latitude Central Europe using a thin-sheet approach. Annales Geophysicae.
- BEAMISH, D. (2012): The 1:625k near-surface bedrock electrical conductivity map of the UK. – British Geological Survey, Commissioned Report, **OR/12/037**, 23 S., London.
- BOTELER, D.H. & PIRJOLA, R.J. (1998): Modelling geomagnetically induced currents produced by realistic and uniform electric fields. – IEEE Transactions on Power Delivery, **13**/4, 1303–1308, New York.
- DUSCHER, K. & GÜNTHER, A. (2014): Die Internationale Hydrogeologische Karte von Europa 1:1.500.000 (IHME1500). – 1 Bl., BGR, Hannover.
- LEHTINEN, M. & PIRJOLA, R. (1985): Currents produced in earthed conductor networks by geomagnetically-induced electric fields. – Annales Geophysicae, **3**, 479–484, Berlin.
- PIRJOLA, R., VILJANEN, A., PULKKINEN, A. & AMM, O. (2000): Space weather risk in power systems and pipelines. – Physics and Chemistry of the Earth, Part C: Solar-Terrestrial and Planetary Science, 25/4, 333–337, Oxford. DOI: https://dx.doi.org/10.1016/S1464-1917(00)00027-1
- SCHUBERT, G. (Red.) (2003): Hydrogeologische Karte der Republik Österreich 1:500.000. – Geologische Bundesanstalt, Wien.

#### Acknowledgement

Projektname: "GEOMAGICA" (Geomagnetically Induced Currents in Austria), Projektnummer: 847986, Programm: Austrian Space Applications Programme.

### **Regional Scale PSI (Persistent Scatterer Interferometry)** feasibility Map modelled with CORINE Land Cover and **Digital Terrain Model: the case of Salzburg**

FILIPPO VECCHIOTTI (1), DARIO PEDUTO (2) & TAZIO STROZZI (3)

### Introduction

The use of DInSAR advanced techniques is nowadays well-established in the field of landslide monitoring due to both, the robustness of the methods and the availability of new satellite datasets that allow characterising a wider range of mass movements (WASOWSKI & BOVENGA, 2014). In recent years, some European countries like Italy, the Netherlands and Switzerland started to produce Persistent Scatterer Interferometry (PSI) nationwide coverage database. In Great Britain, CIGNA et al. (2014) simulated PSI coverage on a national scale by taking into account both ERS and ENVISAT satellite acquisition geometries, the effect of topography on the visibility of the observed targets, and the impact of different land cover types on PSI density (PLANK et al., 2010). Considering both, the high susceptibility to landslides of mountainous areas in Austria and the availability of GEORIOS – a complete landslide inventory (Koçıu et al., 2007) – in this paper a similar approach to CIGNA et al. (2014) is presented and a priority PSI visibility map (CASCINI et al., 2013) using RI index (NOTTI et al., 2014) is produced.

### **Data and Methods**

The dataset used for this study is rich and manifold. It partly includes proprietary data such as: a 10 m nationwide Airborne Laser Scanning DTM; PSI datasets acquired for Salzburg during the PanGeo project (www.pangeoproject.eu). Moreover, open data like Open Street Map and CORINE land cover are also used for feasibility simulation analysis of PSI targets. Finally, the European JRC forest (Join Research Centre) and the Imperviousness Copernicus services (Copernicus Land Monitoring Services) serve as integrative datasets for the resolution sharpening of CORINE land cover map. Synthetic Aperture Radar (SAR) satellites

maintain a specific acquisition geometry with the orbit direction (azimuth) that is roughly northsouth (descending orbit) and south-north (ascending orbit) with lateral imaging viewing or Line-Of-Sight (LOS) respectively westward and eastward. This particular side look-angle of acquisition generates, particularly in high relief areas, earth surface distortions such as layover, foreshortening and shadowing.

In order to account for the above mentioned three aspects, in the present study the range index RI (NOTTI et al., 2010) is applied to the federal Salzburg province. In particular, the analysis of the RI is carried out for ENVISAT and Sentinel-1 satellites. Both of them hold different incidence angles, acquisition geometries and temporal decorrelations. The only major common aspects are concerning the operational C sensor band, which allow penetrating the same thickness of canopy vegetation, and their ground pixel resolutions. All those characteristics, lead to the creation of a first a priority PSI visibility map that does not take into account the land cover classification. Concerning the check of the influence that land cover types have on PSI density, CORINE data were used. Furthermore, a new method was introduced to improve the spatial resolution of those products by fusing CORINE data with sharper European JRC forest map and Imperviousness Copernicus map.

Being the a priori PSI visibility map realised at 10 m resolution, the CORINE standard product (100 m) is sharpened by fusing, in a GIS environment, the JRC forest map (2006) together with the Imperviousness map (2006) to a 20 m resolution. Furthermore, two ERS-ENVISAT PSI datasets for the cities of Salzburg are used as input data for the computation of the PS density over different classes of CORINE land use map. The following step consists of both an improvement of the accuracy

<sup>(1)</sup> Geologische Bundesanstalt, Neulinggasse 38, 1030 Wien. filippo.vecchiotti@geologie.ac.at (2) Università degli Studi di Salerno, Dipartimento di Ingegneria Civile, Via Giovanni Paolo II, 132 - 84084 - Fisciano SA, Italia.

<sup>(3)</sup> GAMMA Remote Sensing, Worbstraße 225, 3073 Gümligen, Schweiz.

of CORINE by including sharper European JRC forest map and Imperviousness Copernicus map and the extraction of the number of acquired PSI targets within each land use polygon in order to evaluate the a priori PSI density map for ERS and ENVISAT. As for Sentinel-1, a triple density value in comparison to ERS-ENVISAT is assumed, considering the high revisit time of the new satellite (35 days versus 12 days, increasing to 6 days for Sentinel-1a and Sentinel-1b) and his very similar spatial resolution.

### Results

The PSI visibility maps modelled (Text-Fig. 1) allow for the two satellites to evaluate the distribution of areas where translational surface motion could be monitored ("Good visibility"), where due to partial distortion ("Visibility with difficulty") only vertical displacements can be measured with reliability and slopes completely affected by earth surface distortions ("Not visible") over Salzburg according to ascending and descending orbit data. Then, thanks to the combination of the modified CORINE Land Cover with the a priori visibility map the "a priori PSI density map" was obtained. This map (Text-Fig. 2) shows this time which land cover portion is more susceptible to the vertical and translational surface motion and it is coupled to the PS probable distribution calculated for each polygon.

### Achievement and future work

At the Department of Engineering Geology of the Geological Survey of Austria (GBA) it is now possible to produce Advanced-DINSAR PSI products on a regional scale using ERS and ENVISAT data. This is particularly useful for retrospective deformation study of mass movements thanks to our experience gained in recent years on interpreting PSI product and on processing SAR data with state-of-the-art software.

Following the proposed approach, in the next future, thanks to the availability of the GEORIOS landslide inventory, the multi-sensor "a priori PSI density map" as well as the free accessibility to a large archive of TerraSAR-X, ALOS-PALSAR, Sentinel-1 and CosmoSkyMed satellites images, it will be possible to select – for different portions of the Austrian reliefs – the sensors whose datasets best fit interferometric applications for landslide analysis purposes.





### References

- CASCINI, L., PEDUTO, D., PISCIOTTA, G., ARENA, L., FERLISI, S. & FORNARO, G. (2013): The combination of DINSAR and facility damage data for the updating of slow-moving landslide inventory maps at medium scale. Natural Hazards and Earth System Sciences, **13**, 1527–1549, Göttingen. DOI: https://dx.doi.org/10.5194/nhess-13-1527-2013
- CIGNA, F., BATESON, L., JORDAN, C.J. & DASHWOOD, C. (2014): Simulating SAR geometric distortions and predicting Persistent Scatterer densities for ERS-1/2 and ENVISAT C-band SAR and InSAR applications: Nationwide feasibility assessment to monitor the landmass of Great Britain with SAR imagery. – Remote Sensing of Environment, **152**, 441–466, Amsterdam.
- KOÇIU, A., KAUTZ, H., TILCH, N., GRÖSEL, K., HEGER, H. & REISCHER, J.
   (2007): Massenbewegungen in Österreich. Jahrbuch der Geologischen Bundesanstalt, **147**, 215–220, Wien.
- NOTTI, D., DAVALILLO, J., HERRERA, G. & MORA, O. (2010): Assessment of the performance of X-band satellite radar data for landslide mapping and monitoring: Upper Tena Valley case study. – Natural Hazards and Earth System Sciences, **10**, 1865–1875, Göttingen.

- NOTTI, D., HERRERA, G., BIANCHINI, S., MEISINA, C., GARCÍA-DAVALILLO, J.C. & ZUCCA, F. (2014): A methodology for improving landslide PSI data analysis. – International Journal of Remote Sensing, **35**/6, 2186–2214, London.
- PLANK, S., SINGER, J., MINET, C. & THURO, K. (2010): GIS based suitability evaluation of the differential radar interferometry method (DInSAR) for detection and deformation monitoring of landslides. – Proceedings of Fringe 2009 Workshop, 30. November–4. December 2009, ESRIN, Frascati, Italy (ESA SP-677, March 2010), 8 pp., Frascati.
- WASOWSKI, J. & BOVENGA, F. (2014): Investigating landslides and unstable slopes with satellite multi temporal interferometry: current issues and future perspectives. – Engineering Geology, **174**, 103–138, Amsterdam.

## Patterns of endogenous seismicity at active clay-rich landslides

NAOMI VOUILLAMOZ (1), SABRINA ROTHMUND (1), MANFRED JOSWIG (1) & BIRGIT JOCHUM (2)

### Abstract

Landslides developed in clay-rich formations are characterised by unpredictable reactivation. In recent years, seismic monitoring of active landslides detected a variety of – generally weak – seismic signals which are inferred to be triggered by the unstable slope. Evaluating landslide seismicity and characterising its occurrence in space and time enable thus to monitor and map dynamics of the landslide in near real-time. Passive seismic monitoring appears therefore as a good approach to complement surveillance of active landslides. If precursor events are detected, it can further help for future slope failure prediction. However, extreme scattering of the waveforms in the heterogeneous material composing the slopes combined to the inherent difficulty of operating seismic networks with optimal geometry in rugged terrains severely challenge standard approaches to event location and consequently impedes source processes interpretation.

In this study, we investigate continuous seismic data of the well-instrumented Super-Sauze landslide (southeastern France) and compare observations with newly acquired seismic data at the Pechgraben landslide (Upper Austria). We apply the nanoseismic monitoring methodology to detect and evaluate seismicity patterns (SICK et al., 2012; VOUILLAMOZ et al., 2016). Despite varying displacement rates (mm/d–cm/d) and hydrological conditions, comparable signals that range from impulsive earthquake-like signals to minute-long tremor sequences are detected at both landslides. In addition to beam forming methods (JOSWIG, 2008), we use waveform attenuation patterns to evaluate the signal source location. Source sizing is then benchmarked with calibration shots carried out at the two landslides. First results indicate that endogenous seismicity rates correlate positively with higher displacement rates. Signals seem to be preferentially originated at shearing boundaries of the slides, which in turn suggests creeping processes as main source of seismic energy release.

#### References

- Joswig, M. (2008): Nanoseismic monitoring fills the gap between microseismic networks and passive seismic. First break, **26**, 117–124, Oxford.
- SICK, B., WALTER, M. & JOSWIG, M. (2012): Visual Event Screening of Continuous Seismic Data by Supersonograms. – Pure and Applied Geophysics, **171**/3, 549–559, Basel. DOI: https://dx.doi.org/10.1007/s00024-012-0618-x
- VOUILLAMOZ, N., WUST-BLOCH, G.H., ABEDNEGO, M. & MOSAR, J. (2016): Optimizing Event Detection and Location in Low-Seismicity Zones: Case Study from Western Switzerland. Bulletin of the Seismological Society of America, 106/5, 2023–2036, Washington, D.C. DOI: https://dx.doi.org/10.1785/0120160029

(1) Universität Stuttgart, Institut für Geophysik, Azenbergstraße 16, 70174 Stuttgart, Deutschland. naomi.vouillamoz@geopys.uni-stuttgart.de

<sup>(2)</sup> Geologische Bundesanstalt, Neulinggasse 38, 1030 Wien.

# Minor and trace elements in sphalerite from lead-zinc-ores in the Ötztal-Stubai complex

THOMAS ANGERER (1), PETER ONUK (2), PETER TROPPER (1) & LENA BODEVING (1)

### Introduction

In this abstract we present preliminary results of a regional study on the distribution of minor and trace metal in Pb-Zn ores from the metamorphic units of the Ötztal-Stubai complex (ÖSC). The aim of the survey is to evaluate the economic potentials and understand the fundamental enrichment processes of High-Tech metals, such as gallium, germanium, indium, tin, antimony, and deleterious metals cadmium and mercury in metamorphosed sulphide ore. The sample set derives from the old mining districts Tösens and Nauders in the western part, and Schneeberg in the eastern part of the ÖSC. The chemical data presented here are from 423 laser ablation ICP-MS spot analyses.

The polymetallic ore district ÖSC includes numerous occurrences of stratiform sulphide mineralisations hosted in paragneisses. The two main, regionally distinct, metal associations are the northern Cu-Fe dominated association with chalcopyrite-pyrite-pyrrhotite±arsenopyrite± sphalerite parageneses and the southern Pb-Zn dominated association with sphalerite-galena±chalcopyrite±pyrite-pyrrhotite parageneses (VAVTAR, 1988). Despite abundant presence of mobilised sulphide-rich veins, the overall lithostratigraphic context suggests an early Palaeozoic, clastic dominated sedimentary exhalative (CD-SEDEX) genesis. Ordovician, Variscian and Eoalpine Orogenies led to a variable and polyphase, metamorphic overprint (low- to high-grade, local high-pressure).

### Petrography

Following textures of sphalerite are categorised: (1) massive vein sphalerite, (2) pegmatoidal vein sphalerite, (3) disseminated sphalerite (coarse patches, fine homogeneous, or between mica), (4) cataclastic sphalerite, and (5) sphalerite breccia cement. The most common sulphides associated with sphalerite are galena, chalcopyrite, pyrite and pyrrhotite, which local occurrences of arsenopyrite, tetrahedrite, boulangerite and gudmundite. Compositional zoning in sphalerite is commonly absent, although there are local crystallographically controlled variation in Fe and Zn. Microinclusions in sphalerite are heterogeneously distributed within the sample set, and commonly include chalcopyrite, galena or Fe-sulphides (pyrite or pyrrhotite).

### Trace element data

Following isotopes of minor and trace elements were monitored: <sup>34</sup>S, <sup>51</sup>V, <sup>52</sup>Cr, <sup>55</sup>Mn, <sup>56</sup>Fe, <sup>57</sup>Fe, <sup>59</sup>Co, <sup>60</sup>Ni, <sup>63</sup>Cu, <sup>66</sup>Zn, <sup>71</sup>Ga, <sup>74</sup>Ge, <sup>75</sup>As, <sup>82</sup>Se, <sup>95</sup>Mo, <sup>107</sup>Ag, <sup>111</sup>Cd, <sup>115</sup>In, <sup>118</sup>Sn, <sup>121</sup>Sb, <sup>205</sup>Tl, <sup>208</sup>Pb and <sup>209</sup>Bi. Analytical protocol and calibration were performed following ONUK et al. (2016).

In terms of minor elements (i.e., > 0.1 wt%), all analysed sphalerites have Fe and Cd concentrations ranging from ~3 to ~9 and ~0.1 to ~0.5 wt%, with highest values exhibited in the Schneeberg samples. Other deposits show Fe concentrations < 7 wt%, although micro-pyrite/pyrrhotite inclusions in two samples from Knappenkar and Sattelalpe lead to abnormally high Fe contents (> 8 wt%). Following deposit averages for trace elements (in order of atomic number) are exhibited: Cr: 0.5 to 0.8 ppm, Mn: 13 to 380 ppm, Co: 0.2 to 454 ppm (highest in Tösens), Ni: 0.2 to 15 ppm, Cu: 180 to 3,790 ppm, Ga: 0.8 to 780 ppm (highest in Hochjoch), Ge: 0.1 to 138 ppm (highest in Tösens-Unterbergler Gang and Tscheyjoch), As: 0.1 to 63 ppm, Se: 11 to 17 ppm, Ag: 4.2 to 128 ppm (highest in Sudleskopf), In: 0.3 to 254 ppm (highest in Knappenkar), Sn: 0.2 to 187 ppm (highest in Tösens-Oberbergler Gang and Sudleskopf), Sb: 2.2 to 282 ppm (highest in Sudleskopf and Tscheyjoch), Hg: 16.5 to 397 ppm (highest in Schneeberg), Pb: 25 to 2,264 ppm, Bi: below de-

(1) Universität Innsbruck, Institute of Mineralogy and Petrography, Innrain 52, 6020 Innsbruck. thomas.angerer@uibk.ac.at

(2) Montanuniversität Leoben, Department Angewandte Geowissenschaften und Geophysik, Peter-Tunner-Straße 5, 8700 Leoben.



Text-Fig. 1.

Box-and-whisker plots of Ga+Ge+Co+In+Sn in sphalerite for all studied deposits and occurrences in the ÖSC. On the right side values for metamorphosed SEDEX and VHMS deposits in Norway and Australia are shown (LOCKINGTON et al., 2014).

tection to 7 ppm (highest in Tösens). Extremely high (< 1,000 ppm) Cu and Pb concentrations are attributed to chalcopyrite and galena "diseases".

### **Discussion and conclusions**

The quantified trace metals are either located in the sphalerite lattice as defects substituting Zn on its IV-coordinated position, or they are hosted in microscopic solid inclusions. In general, the distribution of trace metals in sphalerite is controlled by several, competing or enhancing, geochemical factors: (a) availability of the element in relation with Zn, (b) crystal-chemical compatibility in the IV-coordinated position of the cubic lattice, (c) competition between co-precipitated phases. These factors were active during mineralisation and subsequent phases of remobilisation and recrystallisation.

The high Fe and Cd concentration in Schneeberg samples are primarily related to a higher eoalpidic metamorphic grade in the eastern part of the ÖSC. The Hg concentrations show remarkably low standard deviations within samples and its covariance with Cd suggests that this element is located within the sphalerite lattice. The distinct Hg and Mn variations amongst the deposits allow to a discrimination based on these elements. There is a low-Mn/high-Hg (Tösens, Nauders/Tscheyjoch) and a high-Mn/low-Hg (Nauders/Knappental, Nauders/Knappenkar, Sattelalpe) subgroup. Schneeberg shows untypically variable Hg, suggesting that the Hg chemistry may be zoned across this complex deposit. More investigations of controlling factors for metal distribution will follow.

In terms of total sphalerite-hosted "critical metal" (Ga+Ge+Co+In+Sn) abundance, the comparison with metamorphosed massive base metal deposits in Norway and Australia (LOCKINGTON et al., 2014) reveals that the occurrences in the ÖSC can compete with others (Text-Fig. 1). The Tösens deposit shows highest mean and median Ga+Ge+Co+In+Sn sums in the data set including ÖSC, Norwegian and Australian values.

#### References

- LOCKINGTON, J.A., COOK, N.J. & CIOBANU, C.L. (2014): Trace and minor elements in sphalerite from metamorphosed sulphide deposits. – Mineralogy and Petrology, **108**, 873–890, Wien.
- ONUK, P., MELCHER, F., MERTZ-KRAUS, R., GÄBLER, H.E. & GOLDMANN, S. (2016): Development of a Matrix-Matched Sphalerite Reference Material (MUL-ZnS-1) for Calibration of In Situ Trace Element Measurements by Laser Ablation-Inductively Coupled Plasma-Mass Spectrometry. Geostandards and Geoanalytical Research, 10 p., online version, Vandoeuvre-lès-Nancy. DOI: https://dx.doi.org/10.1111/ggr.12154
- VAVTAR, F. (1988): Die Erzanreicherungen im Nordtiroler Stubai-, Ötztal- und Silvrettakristallin. – Archiv für Lagerstättenforschung der Geologischen Bundesanstalt, 9, 103–153, Wien.

### Mg-Isotopie in Magnesiten – eine Pilotstudie für den Lagerstätten-Isotopenkatalog Österreichs

FRITZ EBNER (1), MARTIN DIETZEL (2), DOROTHEE HIPPLER (2) & HEINRICH MALI (1)

### Ausgangspunkt

Es wird die Verteilung der Mg-Isotope (<sup>24</sup>Mg, <sup>25</sup>Mg, <sup>26</sup>Mg) in ostalpinen Magnesiten unterschiedlicher Genese und geologischer Provenienz untersucht. Es wird davon ausgegangen, dass die zum Magnesit (MgCO<sub>3</sub>) führenden geologischen/ geochemischen Prozesse eine Fraktionierung der Mg-Isotopen bewirken, somit die lagerstättenbildenden Prozesse abbilden und möglicherweise auch Hinweise auf die Mg-Quellen liefern.

Ähnlich konnte dies bereits fallweise für Mg-Isotopensignale von Dolomiten gezeigt werden (z.B. GESKE et al., 2015). Weiters ergaben experimentelle Arbeiten von PEARCE et al. (2012), dass bei der Abscheidung aus Lösungen die leichteren Isotope des Magnesiums bevorzugt in das Kristallgitter von Magnesit eingebaut werden und die Fraktionierung der Mg-Isotope zwischen Fluid und Festphase temperaturabhängig ist. Auch die Auflösung von Magnesit kann zu Fraktionierungsprozessen (Anreicherung des schwereren Mg-Isotops in der Lösung) führen.

### Herkunft der Proben

Als Probenmaterial wurden verschiedene Spatmagnesite aus karbonatischem Wirtsgestein österreichischer Lokalitäten ausgewählt: Breitenau (aus Devon-Dolomiten), Hohentauern (aus Karbon-Karbonatgesteinen), Radenthein (aus höher metamorphem Kristallin) und Kaswassergraben (aus mitteltriassischen Kalken) und darüber hinaus kryptokristalliner Magnesit aus dem Kraubath-Serpentinit.

Zur Abklärung möglicher Fraktionierungen bei Bildungs- bzw. Remobilisationsprozessen werden in einigen Fällen auch die dolomitischen Wirtsgesteine, sekundäre Dolomit- und Talkbildungen in den Magnesiten untersucht.

Neben diesen geologisch unterschiedlich situierten österreichischen Magnesiten werden zusätzlich einige ausländische Magnesite aus sehr unterschiedlichen geologischen Milieus untersucht, um die Bandbreite einer möglichen Variation der Mg-Isotopie abzustecken: Bela Stena/ Serbien – kryptokristalliner Magnesit eingelagert in neogene Sedimente; Poldasht/Iran – sedimentärer Magnesit über quartärem Basalt; Bushveld/ Südafrika – kryptokristalliner Magnesit aus ultramafischer Intrusion.

### Methodik

Die Auswahl möglichst homogener Proben erfolgte zunächst im Gelände und aus Sammlungsmaterialien nach makroskopischen Gesichtspunkten. Danach wurden an polierten Gesteinsanschliffen nach HCl-Ätzung und Auflichtmikroskopie möglichst homogene Bereiche definiert, aus denen über Mikrodrilling das Analysenmaterial gewonnen wurde. Aliquote von ca. 1 mg wurden anschließend mit konzentriertem HNO<sub>3</sub> aufgelöst und das Mg mittels Ionenchromatografie chemisch abgetrennt. Die Messung der Mg-Isotope erfolgte mit hochauflösender Multikollektor-Massenspektroskopie mit induktiv gekoppeltem Plasma (HR-MC-ICP-MS, Nu Instruments, Wrexham, Großbritannien) im NAWI Zentrallabor für Wasser, Gesteine und Minerale der TU Graz. Die Mg-Isotopie wird in der  $\delta$ -Notation  $(\delta^{25}Mg \text{ und } \delta^{26}Mg)$  als relative Abweichung zum Referenzmaterial DSM3 in ‰ angegeben. Ein δ-Wert entspricht dabei mindestens vier Wiederholungsmessungen, mit einer analytischen Unsicherheit auf  $\delta^{25}$ Mg und  $\delta^{26}$ Mg von  $\leq$  0,10 bzw. 0,15 ‰.

Zur vollständigen isotopischen Charakterisierung werden zusätzlich auch die C/O-Isotope gemessen. Eine Schwierigkeit können feinstkörnige Magnesit-Dolomit-Verwachsungen sein, deren Existenz mikroskopisch nachgewiesen und analytisch (ICP-MS) über die Ca- und Mg-Gehalte der Präparate erfasst werden soll.

<sup>(1)</sup> Montanuniversität Leoben, Peter-Tunner-Straße 5,8700 Leoben. *fritz.ebner@gmx.net* (2) Technische Universität Graz, Rechbauerstraße 12, 8010 Graz.

### Innovationspotenzial und erwartete Ergebnisse

Mit der Dokumentation und Interpretation der Isotopendaten wird ein Beitrag zum Lagerstätten-Isotopenkatalog Österreichs und zur Charakterisierung von Magnesit mit stabilen Isotopen geleistet. Zusätzlich wird abgeklärt, inwieweit aus der Mg-Isotopie signifikante Aussagen für die Bildung und Typisierung von Magnesitlagerstätten zu erwarten sind.

### Literatur

- GESKE, A., GOLDSTEIN, R.H., MAVROMATIS, V., RICHTER, D.K., BUHL, D., KLUGE, T., JOHN, C.M. & IMMENHAUSER, A. (2015): The magnesium isotope ( $\delta^{26}$ Mg) signatures of dolomites. – Geochimica et Cosmochimica Acta, **149**, 131–151, New York. DOI: https://doi.org/10.1016/j.gca.2014.11.003
- PEARCE, C.R., SALDI, G.D., SCHOTT, J. & OELKERS, E.H. (2012): Isotopic fractionation during congruent dissolution, precipitation and at equilibrium. Evidence from Mg isotopes. – Geochimica et Cosmochimica Acta, **92**, 170–183, New York. DOI: https://doi.org/10.1016/j.gca.2012.05.045

### kempeMRI-Projekt "Geochemie und lagerstättenkundliche Bedeutung akzessorischer Mikro-Uranmineralisationen im mittleren Tauernfenster"

FRIEDRICH FINGER (1), MICHAEL WAITZINGER (1), DANIEL ELSTER (2), GERHARD SCHUBERT (2) & CHRISTIAN BENOLD (2)

### Ausgangssituation

Die professionelle Suche nach geogenen Rohstoffen baut im Allgemeinen auf dem Wissen um geologische Zusammenhänge auf. Dabei kommt der Geochronologie als Teildisziplin der Geologie eine besondere Bedeutung zu (in Bezug auf Österreich siehe WEBER, 1997: 515ff.). Mit den verschiedenen Methoden der Geochronologie kann das Bildungsalter von Gesteinen und Gesteinsserien, wie auch das Alter metamorpher oder hydrothermaler Überprägungen bestimmt werden. Gerade letztere spielen häufig eine besonders große Rolle bei der Lagerstättenbildung (für die Ostalpen siehe FRANK & WEBER, 1997). Bei den tiefer versenkten Anteilen der Alpen mit präalpiner Kruste besteht das Problem, dass die starke kretazische bzw. zum Teil "tertiäre" Regionalmetamorphose ältere (z.B. mesozoische, permische, variszische) hydrothermale oder metamorphe Aktivitäten stark verschleiert hat. Speziell die niedrigtemperierten präalpinen Ereignisse sind schwer fassbar, da viele der üblichen Niedrigtemperatur-Geochronometer (wie K-Ar, Ar-Ar oder Rb-Sr an Glimmern) durch die jüngere alpine Metamorphose gestört sind oder komplett rückgestellt wurden (FRANK, 1997; THÖNI, 1999).

Es ist daher gerade in Bezug auf die metamorphen Anteile der Ostalpen und aus lagerstättenkundlicher Sicht interessant, nach Geochronometern Ausschau zu halten, welche auf niedriggradig gebildeten Mineralen basieren, aber gleichzeitig eine hohe Robustheit gegenüber einer regionalmetamorphen Überprägung aufweisen. Ein Mineral, welches diese Anforderung erfüllen könnte, ist der Uraninit. Aufgrund der sehr hohen radiogenen Bleiproduktionsrate kann Uraninit mit Elektronenstrahlmethoden relativ einfach datiert werden (PARSLOW et al., 1985; BOWLES, 1990). Wenngleich als Einzelfund einige Male beschrieben und zum Teil sogar geochronologisch genutzt (РЕТRASCHEK, 1975; РААR & КÖPPEL, 1978; KIRCHNER & STRASSER, 1983; NIEDERMAYR et al., 1997; РААR & NIEDERMAYR, 1998), galt Uraninit in den metamorphen Gesteinen der Ostalpen bisher als eine ziemlich seltene Bildung.

Aktuelle mineralogisch-petrografische Untersuchungen an Orthogneisen des mittleren Tauernfensters (FINGER et al., 2016) liefern nun das überraschende Resultat, dass Uraninit in Form von Mikrokristallen (1–20 µm) wesentlich weiter verbreitet ist, als bisher angenommen (Abb. 1). Daneben finden sich mitunter weitere uranreiche Minerale wie Uranothorit, Coffinit, oder auch uranreicher Monazit. Erste mineralchemische Analysen (FINGER et al., 2016) sowie darauf basierende U-Th-Pb Altersberechnungen haben ein ausgesprochen spektakuläres Ergebnis erbracht: Es scheint nämlich, dass sich in diesen Uran-Mikromineralisationen des mittleren Tauernfensters sowohl ein permisches, wie auch ein triassisches thermisches Ereignis abbilden. Die bisherigen Messdaten zeigen jedenfalls ganz klar, dass neben einer alpidischen Uraninitgeneration (Alter ca. 30 Ma) regelmäßig auch Relikte älterer Uraninite vorhanden sind.

Das geochronologische Potenzial dieser Uran-Mikromineralisationen soll im vorliegenden Projekt erstmals systematisch ausgetestet werden. Bekanntlich bergen chemische U-Th-Pb Datierungen von Mineralen immer das Risiko einer Verfälschung durch unerkannten Bleiverlust, durch gewöhnliches Blei, bzw. eventuell auch durch sekundäre Umverteilung von Uran oder Thorium. Es bedarf somit sorgfältiger mineralogischer Begleituntersuchungen, um diese Effekte erkennen zu können. Dazu gehört z.B. eine systematische Untersuchung der Elementverteilungen innerhalb einzelner Kristalle (KEMPE, 2003).

 (1) Universität Salzburg, Fachbereich Chemie und Physik der Materialien, Jakob-Haringer-Straße 2a, 5020 Salzburg. *friedrich.finger@sbg.ac.at* 
 (2) Geologische Bundesanstalt, Neulinggasse 38, 1030 Wien.



Abb. 1.

Mikrokristalle von akzessorischen Uranoxiden (Uo) in Gneisen des mittleren Tauernfensters, aufgenommen im Rasterelektronenmikroskop (Rückstreuelektronenbilder von Ausschnitten polierter Gesteinsdünnschliffe). a und b: Felbertauern Augengneis,

c: K1-Gneis (Probe M. Kozlik, Leoben),

d und e: Granatspitz-Gneis,

f: Aplitgneis Reichenspitze.

Mineralabkürzungen: Ab = Albit, Ep = Epidot,

Ms = Muskovit, Py = Pyrit, Qz = Quarz,

Ttn = Titanit, Zrn = Zirkon.

### Projektziele

Erstes konkretes Ziel des Vorhabens ist die Entwicklung einer präzisen rasterelektronenmikroskopischen Abbildungs- und Messmethodik für Mikro-Uranmineralisationen. Nach Ende der Projektlaufzeit (zwei Jahre) sollen chemische U-Th-Pb Datierungen sowohl am Institut für Geologie der Universität Salzburg, wie auch an der Geologischen Bundesanstalt (GBA) routinemäßig durchführbar sein.

Wir gehen davon aus, dass die mineralogische Untersuchung und chemische Datierung von Mikro-Uranmineralisationen wesentliche neue Aspekte für die Lagerstättenforschung im Metamorphikum der Ostalpen liefern kann. Das soll zunächst am Beispiel der mittleren Hohen Tauern dokumentiert werden. Der praktische Aspekt des Projektes wird sein, das geochronologische Potenzial der Methode an verschiedenen Gesteinen des mittleren Tauernfensters ausführlich zu testen, insbesondere auch an Proben aus bereits bekannten Vererzungszonen (WEBER, 1997). Wir erwarten dadurch neue Erkenntnisse in Bezug auf lagerstättenbildende geologische Prozesse.

Als wichtiges Nebenprodukt der Untersuchungen kann gelten, dass Informationen über die mineralische Bindung von Uran in Gesteinen bereitgestellt werden, welche wiederum genützt werden können, um das Mobilisierungspotenzial des Elementes in das Grundwasser abzuschätzen. Aktuelle Untersuchungen haben gezeigt, dass das Schwermetall Uran gerade im gegenständlichen Untersuchungsgebiet, dem Tauernfenster, häufig über dem Grenzwert für Trinkwasser liegt (SCHUBERT et al., 2014).

### Literatur

- BOWLES, J.F.W. (1990): Age dating of individual grains of uraninite in rocks from electron microprobe analyses. – Chemical Geology, **83**, 47–53, Amsterdam.
- FINGER, F., WAITZINGER, M., FÖRSTER, H.J., KOZLIK, M. & RAITH, J. (2016): Hinweise auf permische und triassische Metamorphosephasen im Tauernfenster durch chemische Datierungen von akzessorischen Uraninit-Mikrokristallen. – Abstract Volume Geotirol 2016, Annual Meeting DGGV, 25.–28. September 2001, 68, Innsbruck.
- FRANK, W. (1997): Evolution of the Austroalpine elements in the Cretaceous. – In: FLÜGEL, H.W. & FAUPL, P. (Eds.): Geodynamics of the Eastern Alps, 379–406, Wien.
- FRANK, W. & WEBER, L. (1997): Lagerstättenbildung im Zusammenhang mit Metamorphosevorgängen. – In: WEBER, L. (Hrsg.): Handbuch der Lagerstätten, Erze, Industrieminerale und Energierohstoffe Österreichs. – Archiv für Lagerstättenforschung der Geologischen Bundesanstalt, **19**, 542–544, Wien.

- KEMPE, U. (2003): Precise electron microprobe age determination in altered uraninite: Consequences on the intrusion age and the metallogenic significance of the Kirchberg granite (Erzgebirge, Germany). – Contributions to Mineralogy and Petrology, **145**/1, 107–118, Berlin–Heidelberg.
- KIRCHNER, E.C. & STRASSER, A. (1983): Vorläufige Mitteilung über eine schichtgebundene Uranvererzung in der Wustkogelserie des Hüttwinkeltales (Rauris), Salzburg. – Anzeiger der Österreichischen Akademie der Wissenschaften, **120**, 19–21, Wien.
- NIEDERMAYR, G., BERNHARD, F., BOJAR, H.P., BRANDSTÄTTER, F., ETTINGER, K., MOSER, B., PAAR, W.H., POSTL, W., TAUCHER, J. & WALTER, F. (1997): Neue Mineralfunde aus Österreich XLVI. – Carinthia II, **187**, 169–214, Klagenfurt.
- PAAR, W.H. & KÖPPEL, V. (1978): Die Uranknollen-Paragenese von Mitterberg (Salzburg, Österreich). – Neues Jahrbuch für Mineralogie, Abhandlungen, **131**, 254–271, Stuttgart.
- PAAR, W.H. & NIEDERMAYR, G. (1998): Das Wurtental Kluftmineralisationen und Edelmetallvererzungen. – Mitteilungen der Österreichischen Mineralogischen Gesellschaft, **143**, 425–437, Wien.
- PARSLOW, G.R., BRANDSTÄTTER, F., KURAT, G. & THOMAS D.J. (1985): Chemical ages and mobility of U and Th in anatectites of the Cree Lake Zone Saskatchewan. – The Canadian Mineralogist, **23**, 543–551, Ottawa.

- PETRASCHEK, W.E. (1975): Zur Altersbestimmung einiger Ostalpiner Erzlagerstätten Österreichs. – Mitteilungen der Österreichischen Geologischen Gesellschaft, **68**, 79–87, Wien.
- SCHUBERT, G., BERKA, R., KATZLBERGER, C. & PHILIPPITSCH, R. (2014): Radionuklide in den Grundwässern Österreichs regionale Verteilung und Interpretation. In: BERKA, R., KATZLBERGER, C., PHILIPPITSCH, R., SCHUBERT, G., KORNER, M., LANDSTETTER, C., MOTSCHKA, K., PIRKL, H., GRATH, J., DRAXLER, A. & HÖRHAN, T.: Geologische Themenkarten der Republik Österreich. Erläuterungen zur geologischen Themenkarte Radionuklide in Grundwässern, Gesteinen und Bachsedimenten Österreichs 1:500.000, 82–93, Geologische Bundesanstalt, Wien.
- THÖNI, M. (1999): A review of the geochronological data from the Eastern Alps. – Schweizerische mineralogische und petrographische Mitteilungen, **79**, 209–230, Zürich.
- WEBER, L. (Hrsg.) (1997): Handbuch der Lagerstätten, Erze, Industrieminerale und Energierohstoffe Österreichs. – Archiv für Lagerstättenforschung der Geologischen Bundesanstalt, 19, 607 S., Wien.

### Geophysikalische Prospektionsmethoden zur stofflichen Charakterisierung von Bergbauhalden im Hinblick auf eine potenzielle Rohstoffnutzung mit begleitender Evaluierung von Haldeninhalten mittels geochemischer-mineralogischer Stoffflussanalysen/POTHAL

Adrian Flores-Orozco (1), Christian Benold (2), Alexander Römer (2) & Albert Schedl (2)

### Ausgangslage und Problemstellung

Die Untersuchung und Bewertung von Halden als sekundäre Mineralrohstoffressourcen ist bei konventionellen Explorationsmethoden ein relativ aufwendiges Untersuchungsverfahren mit dichten Rasterbohrungen, Großprobenahmen, geochemischen Serienanalysen und geophysikalischen Detailuntersuchungen. Für eine detaillierte Charakterisierung sind Kenntnisse der Wertstoffzusammensetzung bzw. dessen Gehalt, die Bindungsform der Wertstoffphasen, der Verwitterungszustand und die Korngröße relevante Faktoren. Als kostengünstige Alternative werden international im zunehmenden Maße integrierte Methodenkombinationen (Geophysik, Geochemie, Mineralogie) zur Evaluierung von Rohstoffpotenzialen in Bergbau-/Aufbereitungshalden eingesetzt. Geophysikalische Methoden dienen vor allem dazu, einem Haldenkörper ein räumliches Bild in Form von 2D-, 3D- oder 4D-Modellen zu geben. Dabei wird als eines der wichtigsten geophysikalischen Verfahren die Messung der Induzierten Polarisation (IP), die für die Exploration metallischer Erze entwickelt wurde (z.B. PELTON et al., 1978), eingesetzt. Sie basiert auf der (mehr oder weniger) starken Polarisierbarkeit metallischer Minerale. Indikatoren für das Wertstoffangebot von Halden werden auch durch die Untersuchung von komplexen Stoffflüssen in Haldenkörpern mittels Geochemie und Mineralogie erwartet. Trotz aller dieser komplexen Prozesse innerhalb von Halden können über die chemische/mineralogische Zusammensetzung von Stoffflüssen in Sickerwässern, Erosions-/Verwitterungsmaterial aus Halden bzw. Anreicherungen in Böden im unmittelbaren Einzugsbereich von Halden und daraus resultierenden Stoffflussbilanzierungen durchaus bereits Aussagen zu einer

stofflichen Erstcharakterisierung von Sekundärrohstoffpotenzialen in Bergbau-/Aufbereitungshalden gemacht werden.

Mit den im Rahmen der Mineralrohstoffinitiative durchgeführten Untersuchungen sollen kostengünstigere Untersuchungsvarianten für die Evaluierung des Rohstoffpotenzials von Bergbau-/ Aufbereitungshalden evaluiert werden.

### Erste Ergebnisse aus dem Messgebiet Schwaz

Das Untersuchungsgebiet liegt im Osten des Stadtgebietes von Schwaz, rund 450 m südöstlich des Mundlochs des Sigmund Erbstollens und umfasst eine Gesamtfläche von rund 21.000 m<sup>2</sup>. Die ausgewählten Haldenbereiche zählen zum Fahlerz-Bergbaurevier Falkenstein-Tiefere Baue, einem der ältesten Reviere im Bereich von Schwaz. Der unmittelbare geologische Untergrund der ausgewählten Haldenbereiche (Aufbereitungshalde, Bergbauhalde) besteht aus pleistozänen Quartärsedimenten. Charakteristisch für das unmittelbare Untersuchungsgebiet ist das Auftreten von bis über 10 m mächtigen Tonsedimenten, die als Seetonablagerungen interpretiert werden. Abbildung 1 zeigt eine 3D-Darstellung der Ergebnisse von IP-Messung (Phasenverschiebung in mrad) über den gesamten Haldenbereich und darüber hinaus. Die eher geringen Werte des Polarisationseffektes, die in den Bereichen der Sandpocherhalde selbst auftreten, können durch zwei Ursachen erklärt werden. Durch die eher geringe metallische Konzentration von < 1 % und der Tatsache, dass die metallischen Minerale hauptsächlich als Sekundärphasen vorliegen und damit durch z.B. karbonatische Sekundärbildungen nach außen abgeschirmt werden. Dadurch wird die Amplitude des Polarisationseffektes reduziert. Mineralogisch-mikrochemische Unter-

<sup>(1)</sup> Technische Universität Wien, Gußhausstraße 27–29, 1040 Wien. *adrian.flores-orozco@geo.tuwien.ac.at* (2) Geologische Bundesanstalt, Neulinggasse 38, 1030 Wien.



Abb. 1. 3D-Darstellung der Ergebnisse der Spektral Induzierten Polarisation (SIP).

suchungen (Mineralphasenanalytik) von Haldenmaterial, insbesondere der Feinkornfraktion, ermöglichen neben der qualitativen und quantitativen Beschreibung von Spurenelementgehalten in den verschiedenen Mineralphasen bereits sehr präzise Aussagen über Verwitterungs- und Stoffflussprozesse in den Bergbauhalden. An Hand einiger fast vollständig in Sekundärphasen umgewandelter Tetraedritphasen lassen sich die Schwermetallstoffflüsse sehr instruktiv verfolgen. Bei der Umwandlung in sekundäre Cu-Sb-As-Zn-Fe-Minerale wird ein Teil der Hg-Komponente des Tetraedrits in Form von teilweise dichten Zinnobereinschlüssen in der Sekundärphase fixiert. Der Rest dürfte zum Teil wasserlöslich und daher leicht mobilisierbar sein. Die Arsen-Komponente der Sulfide ist weitgehend an die verschiedenen Sekundärphasen gebunden. Antimon hingegen wird beim Verwitterungsprozess mobil und ist nur mehr teilweise in schmalen (Fe, Sb)-Säumen

um die ehemaligen Fahlerzkerne erhalten. Zink ist noch zum Teil diffus verteilt in den verschiedenen Sekundärphasen erhalten. Da die Sekundärphasen meist Cu-Verbindungen darstellen, ist die Mobilisierung von Kupfer im Vergleich zu den anderen Schwermetallen, bei bedeutend höheren Ausgangsgehalten, am geringsten. In Abbildung 2 sind die Bindungsformen der Schwermetalle an die Tonminerale im Untergrund der Sandpocherhalde abgebildet. Dabei kann Bariumchlorid als die adsorptiv an der Oberfläche und CAT als die komplex gebundene Bindungsform interpretiert werden (als Referenzwert dient die RFA-Analytik).

#### Literatur

PELTON, W.H., WARD, S.H., HALLOF, P.G., SILL, W.R. & NELSON, P.H. (1978): Mineral discrimination and removal of inductive coupling with multifrequency IP. – Geophysics, **43**, 588–609, Tulsa.



### Verteilung der Spodumen-Pegmatite sowie differenzierter Pegmatite und Leukogranite im Ostalpinen Kristallin

HEINRICH MALI (1), TANJA ILICKOVIC (2), RALF SCHUSTER (2), PETER ONUK (1) & ALBERT SCHEDL (2)

### Einleitung

Im Zuge des MRI-Projektes "Genese und Verteilung der Spodumen-Pegmatite im Ostalpinen Kristallin" wurden bisher über 1.000 Vorkommen von im Perm kristallisierten einfachen Pegmatiten, Leukograniten und Spodumen-Pegmatiten untersucht und beprobt. In der Vergangenheit wurden aus einigen dieser Pegmatite Muskovit, Feldspat und/oder Quarz gewonnen. Mächtigere Pegmatitgänge und die Leukogranitkörper wurden auch zur Produktion von Wurfsteinen herangezogen. Von besonderem Interesse sind die Spodumen-Pegmatite, die in Zukunft als Li-Erz abgebaut werden könnten.

Mittels Spurenelementanalysen an Muskoviten wurde der Fraktionierungsgrad der Gesteine untersucht und dessen räumliche Verteilung in einer geologischen Übersichtskarte dargestellt. Die Karte kann eine Grundlage für zukünftige Prospektionsarbeiten auf höher fraktionierte Pegmatite, die neben Li auch noch andere Metalle wie Sn, Ta oder Nb enthalten könnten, darstellen. Darüber hinaus können die Daten aber auch zur genaueren Untergliederung des Ostalpinen Kristallins verwendet werden.

### Geologische Übersichtskarte der permischen Pegmatite und Leukogranite

Im Gelände wurden von jedem untersuchten Pegmatit Daten zur räumlichen Erstreckung, zum Deformationsgrad, dem Mineralbestand und den Nebengesteinen aufgenommen. Bei Spodumen-Pegmatiten wurden weiter die Größe der Spodumenkristalle und deren Volumprozent abgeschätzt. Von vielen Aufschlüssen wurden cm-große, magmatische Muskovitkristalle mittels LA-ICPMS auf ihre Spurenelementgehalte untersucht. Bestimmt wurden unter anderem die Elemente Ba, Be, Cs, K, Nb, Rb, Sn, Ta und TI sowie

Abb. 1.

Verteilung von permischen Pegmatiten und deren Mächtigkeit (Erläuterung siehe Text).



(1) Montanuniversität Leoben, Peter-Tunner-Straße 5, 8700 Leoben. heinrich.mali@unileoben.ac.at

<sup>(2)</sup> Geologische Bundesanstalt, Neulinggasse 38, 1030 Wien.

Verhältnisse K/Rb, K/Tl, K/Cs und K/Ba. Alle diese Daten wurden in eine Access-Datenbank eingearbeitet und mit Daten aus der Literatur ergänzt (MALI, 2004; AHRER, 2014; GOTTHARDT, 2015; SWEDA, 2017; PEKOL, 2017; STEINER, accepted). Zusätzlich wurden Sm-Nd und Rb-Sr Isotopen- bzw. Altersdaten von Pegmatiten in die Datenbank aufgenommen.

Diese Access-Datenbank ist mit dem elektronischen Kartierungsbuch der Geologischen Bundesanstalt (GBA) sowie mit einer Arc-GIS-Datei verknüpft, wodurch es möglich ist, die räumliche Verteilung der verschiedenen Parameter auf unterschiedlichen Karten darzustellen.

In Abbildung 1 ist exemplarisch die Verteilung von Pegmatiten, Spodumen-Pegmatiten und Leukograniten, verschnitten mit der jeweiligen Mächtigkeit des Gesteinskörpers, dargestellt. Im Hintergrund befindet sich eine tektonische Karte basierend auf der Geologischen Übersichtskarte der Republik Österreich 1:1,500.000 (SCHUSTER et al., 2015). Neben den schon länger bekannten Spodumen-Pegmatiten bei St. Radegund, Mitterberg, Weinebene, Lachtal und Hohenwart konnten im Rahmen des Projektes zusätzliche Vorkommen am Falkenberg westlich von Knittelfeld und am Millstätter Seenrücken sowie außerhalb des dargestellten Bereiches im Deffereggental aufgefunden werden. Die beiden eingezeichneten Leukogranitgneise am Gaisrücken westlich von Knittelfeld und bei Deutschlandsberg sind inhomogene Körper, die in unterschiedlicher Menge aus Graniten, Pegmatiten und Apliten, oft mit kleinräumigen, diffusen Abgrenzungen, hervorgegangen sind. Die dargestellte Mächtigkeit ist oft ein Minimalwert, der sich aus der aufgeschlossenen Mächtigkeit oder der Größe von Blöcken ergibt. Sie schwankt bei den Pegmatiten zwischen 0,1 und 20 m, die Leukogranite erreichen bis über 200 m Mächtigkeit. Alle im Bereich der Karte ausgeschiedenen permischen Magmatite liegen innerhalb des Koralpe-Wölz-Deckensystems und dabei vornehmlich im Rappold-, Millstatt-, Saualpe-Koralpe- und Plankogel-Komplex.

Für die Prospektion nach hochfraktionierten Pegmatiten ist besonders das K/Rb-Verhältnis in magmatischen Muskoviten aussagekräftig. Dieses sinkt im Zuge der Fraktionierung ab, da Rb in der Schmelze immer mehr angereichert wird. Hochfraktionierte permische Pegmatite bzw. Spodumen-Pegmatite zeichnen sich durch magmatische Muskovite mit 375–1.750 ppm Li und niedrigen K/Rb-Verhältnissen von 15–150 aus. Magmatische Granate enthalten 220–1.200 ppm Li.

Die Verteilung des K/Rb-Verhältnisses in den magmatischen Muskoviten kann auch für die Untergliederung des Ostalpinen Kristallins verwendet werden, da die Schmelzen im Zuge der Fraktionierung auch gegen die Erdoberfläche aufsteigen und sich so eine Zonierung des Fraktionierungsgrades mit der Tiefenlage der Gesteine im Perm ergibt. Fraktionierungstrends geben somit Hinweise auf eine aufrechte, inverse oder verkippte Stellung eines Komplexes mit Bezug auf seine Lagerung im Perm wieder. Sprünge im Fraktionierungsgrad können der Ausdruck von alpidischen Deckengrenzen sein. Eine sehr eindeutige Zonierung konnte für den Rappold-Komplex im Gebiet um St. Radegund gemessen werden. Dort fällt das K/Rb-Verhältnis von Osten nach Westen zur Hangendgrenze der Einheit ab, woraus sich eine aufrechte Lagerung ableiten lässt. Diese ergibt sich auch aus der Verteilung der Paragenesen in den Glimmerschiefern und Paragneisen.

#### Literatur

- AHRER, S. (2014): Geowissenschaftliche und aufbereitungstechnische Untersuchungen an ausgewählten Pegmatiten und deren Nb-Ta-Vererzungen in den Ostalpen, Steiermark, Österreich. – M.Sc.-Arbeit, Montanuniversität Leoben, 105 S., Leoben.
- GOTTHARDT, C. (2015): Pegmatitgenese des Radegunder Kristallins, des Millstätter Kristallins und der Kreuzeckgruppe. – Masterarbeit Technische Universität Graz, 120 S., Graz.
- MALI, H. (2004): Die Spodumenpegmatite von Brettstein und Pusterwald (Wölzer Tauern, Steiermark, Österreich). – Joannea – Mineralogie, **2**, 5–53, Graz.
- PEKOL, A. (2017): Differentiation der Pegmatite am Südrand der Saualpe. – Unpublizierte B.Sc.-Arbeit, Montanuniversität Leoben, 57 S., Leoben.
- SCHUSTER, R., DAURER, A., KRENMAYR, H.G., LINNER, M., MANDL, G.W., PESTAL, G. & REITNER, J.M. (2015): Rocky Austria. Geologie von Österreich – kurz und bunt. – 4. Auflage, 80 S., Geologische Bundesanstalt, Wien.
- STEINER, R. (accepted): Differentiation der Pegmatite des Millstätter See-Rückens. – Unpublizierte M.Sc.-Arbeit, Montanuniversität Leoben, 189 S., Leoben.
- SWEDA, M. (2016): Spurenelementchemie der Muskovite aus Pegmatiten des Falkenbergzugs bei Judenburg (Niedere Tauern, Steiermark). – Unpublizierte B.Sc.-Arbeit, Montanuniversität Leoben, 46 S., Leoben.

### Identifikation und Klassifizierung potenzieller Hochtechnologiemetallressourcen in ostalpinen Blei-Zink-Lagerstätten

### Hochtechnologiemetallvorkommen in Österreich

Die lagerstättengeologische Situation in Österreich ist für einige Hochtechnologie (HT)-Metalle durchaus günstig. So war Österreich in der jüngeren Vergangenheit ein bedeutender Bergbauproduzent von Antimon, von Germanium (aus Anodenschlämmen der Hütte Arnoldstein wurden in 34 Jahren 174 Tonnen Germanium gewonnen; CERNY & SCHROLL, 1995) sowie in der weiter zurückliegenden Vergangenheit auch von Kobalt (WEBER, 1997). Bedingt durch die jahrhundertelange Bergbau- und Hüttentätigkeit im Ostalpenraum auf Kupfer, Gold, Zink, Blei, Eisen und andere Metalle kann grundsätzlich von einem erheblichen Reststoffpotenzial der Bergbauund Schlackenhalden ausgegangen werden. Eine Quantifizierung dieser relativ leicht verfügbaren Stoffe sowie der in ihnen enthaltenen HT-Metalle muss Ziel der Forschung der nächsten Jahre sein.

Der Österreichische Rohstoffplan (WEBER, 2012) hat Gebiete in Österreich identifiziert, die auf der Basis der verfügbaren Daten für die zukünftige Rohstoffgewinnung als sicherungswürdig einzustufen sind. Neun Vorkommen von Buntmetallsulfiden wurden als sicherungswürdig oder bedingt sicherungswürdig bewertet. Die vorhandenen Daten lassen eine Gliederung der primären Sulfidlagerstätten für die kritischen HT-Metalle Germanium, Gallium, Indium und Kobalt in drei Gruppen erkennen.

- (1) Karbonatgebundene Blei-Zink-Lagerstätten in triassischen Karbonatplattformen der ostalpinen Decken und im Südalpin – Beispiele sind Bleiberg-Kreuth, Hochobir, Jauken und Lafatsch (Abb. 1).
- (2) Sediment- und vulkanitgebundene, teilweise submarin-exhalative Blei-Zink-(Kupfer-Silber)-Lagerstätten, die zumeist in grünschieferfaziell metamorphen paläozoischen Abfolgen der Ostalpinen Decken auftreten: z.B. im Grazer Paläozoikum (u.a. Arzberg-

PETER ONUK (1) & FRANK MELCHER (1)

Haufenreith, Guggenbach; WEBER, 1990), Gurktal-Decke (Meiselding), Ennstaler Quarzphyllit (Walchen), Paläozoikum der Karawanken (Koprein).

(3) Ganglagerstätten unterschiedlicher Genese und Alters, z.B. Mitterberger Hauptgang, Leogang und Vellach-Metnitz (Gurktal-Decke).

## Probenahme und Spurenelementanalyse an Sphaleriten

Aus den noch befahrbaren Grubengebäuden und Halden der in Abbildung 1 markierten Lokalitäten wurden Erzproben entnommen und zur weiteren Bearbeitung mittels Auflicht- und Rasterelektronenmikroskopie sowie Laser Ablation-ICP-MS an polierten Dickschliffen vorbereitet. Die Laser Ablation-ICP-MS Methode liefert eine ortsaufgelöste Information mit geringer Nachweisgrenze und erlaubt somit die Abschätzung der Variabilität von Elementkonzentrationen innerhalb einer Probe. Typischerweise werden pro Dickschliff 20 Sphaleritkörner analysiert. Bis dato wurden circa 5.500 Analysen mit je 21 Elementen durchgeführt (V, Cr, Mn, Fe, Co, Ni, Cu, Ga, Ge, As, Se, Mo, Ag, Cd, In, Sn, Sb, Tl, Pb, Bi, Hg) (ONUK et al., 2016).

### Ergebnisse

Sphalerite aus paläozoischen Vorkommen weisen eine hohe Variabilität der meisten Spurenelemente auf. Die paläozoischen Vorkommen sind gegenüber den mesozoischen an Co-, Ag- und teilweise an Ga- und In-Gehalten angereichert. Die untersuchten Ganglagerstätten zeichnen sich durch erhöhte Co-, Ga- und Sn-Konzentrationen aus. In den mesozoischen Vererzungen des Drauzuges und der Nördlichen Kalkalpen sind die Spurenelemente Ge, As, Tl und Cd signifikant erhöht. Im Vergleich zu den Erzen des Drauzuges sind die Sphalerite aus Lafatsch (Karwendelgebirge, Tirol) Ag-reich (Median 43 ppm Ag). Eine multivariate statistische Analyse des Datensatzes zeigt, dass

<sup>(1)</sup> Montanuniversität Leoben, Peter-Tunner-Straße 5, 8700 Leoben. peter.onuk@unileoben.ac.at

bestimmte Spurenelementassoziationen (Faktoren) in Sphaleriten aus ostalpinen Pb-Zn-Erzen unterschiedliche Wichtungen zeigen, die mit kristallchemischen (z.B. Substitutionsmechanismen) und physikochemischen Parametern (z.B. Bildungstemperatur) korrelieren. Der nunmehr vorliegende Datensatz zu Spurenelementkonzentrationen in Sphalerit soll genutzt werden, um Restpotenziale für wichtige Hochtechnologiemetalle in österreichischen Erzlagerstätten und deren bergbaulichen, aufbereitungstechnischen und metallurgischen Reststoffen abzuschätzen.

Zusammenfassend kann gezeigt werden, dass die untersuchten Vorkommen teilweise auf bestimmte HT-Metalle spezialisiert sind. Unter der Annahme, dass die Verteilung der wichtigen HT-Metalle wesentlich durch Sphalerit kontrolliert wird, zeigt Germanium das höchste Potenzial in den mesozoischen karbonatgebundenen Vererzungen vom Alpinen Typ (Median verschiedener Lagerstätten 41–845 ppm Ge), in denen auch noch die größten Reserven vermutet werden (CERNY & SCHROLL, 1995). Gallium-Konzentrationen sind in einigen Ganglagerstätten erhöht (Md > 20 ppm), während Indium in den Vorkommen von Leogang und Walchen (dort auch gemeinsam mit Chalkopyrit) angereichert ist (Md > 100 ppm). Mit den gewonnenen Spurenelementdaten kann in den ostalpinen Zn-Pb(-Cu)-Erzen eine klare Affinität von Mn, Fe, Co, In, Sn und Sb zu hochtemperierten, und von Ge, As, Tl und Pb zu niedrigtemperierten Lagerstätten aufgezeigt werden.

### Literatur

- CERNY, I. & SCHROLL, E. (1995): Heimische Vorräte an Spezialmetallen (Ga, In, Tl, Ge, Se, Te und Cd) in Blei-Zink- und anderen Erzen. – Archiv für Lagerstättenforschung der Geologischen Bundesanstalt, **18**, 5–33, Wien.
- ONUK, P., MELCHER, F., MERTZ-KRAUS, R., GÄBLER, H.-E. & GOLDMANN, S. (2016): Development of a Matrix-Matched Sphalerite Reference Material (MUL-ZnS-1) for Calibration of In Situ Trace Element Measurements by Laser Ablation-Inductively Coupled Plasma-Mass Spectrometry. Geostandards and Geoanalytical Research, 10 p., online version, Vandoeuvre-lès-Nancy. DOI: https://dx.doi.org/10.1111/ggr.12154
- WEBER, L. (1990): Die Blei-Zinkerzlagerstätten des Grazer Paläozoikums und ihr geologischer Rahmen. – Archiv für Lagerstättenforschung der Geologischen Bundesanstalt, **12**, 289 S., Wien.
- WEBER, L. (Hrsg.) (1997): Handbuch der Lagerstätten der Erze, Industrieminerale und Energierohstoffe Österreichs. – Archiv für Lagerstättenforschung der Geologischen Bundesanstalt, **19**, 607 S., Wien.
- WEBER, L. (Hrsg.) (2012): Der Österreichische Rohstoffplan. Archiv für Lagerstättenforschung der Geologischen Bundesanstalt, 26, 263 S., Wien.

Abb. 1.

Übersichtskarte der geologischen Großeinheiten (*http://www.data.gv.at*).

Rote Punkte markieren beprobte Vorkommen in paläozoischen Einheiten, grüne Punkte Vorkommen in mesozoischen Einheiten. AA: Achselalm, BB: Bleiberg-Kreuth, Fl: Fladung-Hochobir, GP: Grazer Paläozoikum, Ja: Jauken, KOP: Koprein, LaT: Lafatsch, Leo: Leogang, Mei: Meiselding, Met: Metnitz, Oz: Oberzeiring, Ra: Radnig, Wa: Walchen.



# Source rock potential of Oligocene Source Rocks of the Waschberg Zone, Lower Austria

MAGDALENA PUPP (1), REINHARD F. SACHSENHOFER (1), MARIA HEINRICH (2) & PIOTR LIPIARSKI (2)

### Abstract

The Oligocene Menilite Formation is the most important source rock in the Carpathians and may have also contributed to hydrocarbon accumulations in the Czech part of the Vienna Basin. The main aim of the present contribution is to examine if equivalent rocks in the Waschberg Unit in Austria (Ottenthal Formation [NP22-23], Thomasl Formation [NP23-25]) hold a similar hydrocarbon potential.

The study is based on 50 core and cuttings samples representing the Thomasl Formation in wells Thomasl and Poysdorf (see also FUCHs et al., 2001) and 80 samples from an outcrop section near Ottenthal ("Waldweg"), which has been studied previously by RöGL et al. (2001). The Ottenthal Formation is subdivided from base to top into marls and shales (Ottenthal Mb.; NP21-22), diatomaceous rocks (Galgenberg Mb.; NP22) and the Dynow Marlstone (lower NP23). Geochemical parameters from the Ottenthal section and borehole Thomasl are presented in Text-Figure 1.

The Ottenthal section is strongly tectonised. In Text-Figure 1, data from different complexes are arranged in such a way that they yield a continuous profile. The Oligocene succession, 32 m thick, starts with calcareous shales with very low total organic carbon (TOC) contents. They are overlain by carbonate-free shales and diatomaceous sediments. Although TOC contents are slightly higher than in the lowermost part, average TOC is only 0.7 wt.% (max. 1.1 wt.%). The Dynow Marlstone is characterised by high and upward decreasing carbonate contents. Very low TOC contents (average 0.4 wt.%) may result from dilution of organic matter by calcareous nannoplankton. TOC contents remain low in the overlying Thomasl Formation. The organic matter is thermally immature and the low HI (Hydrogen Index) values (max. 151 mgHC/ gTOC) prove the presence of type III kerogen. Biomarker ratios indicate oxygen-depleted conditions and a varying, but typically high contribution

of land plants. Concentrations of diatom-derived biomarkers ( $C_{25}$ -HBIs) are typically low, although biogenic silica contents are high, especially in the lower part of the succession..

The Thomasl Formation in the Thomasl well is about 120 m thick. It is composed of calcareous shales with TOC contents ranging from 0.5 to 4.0 wt.%. HI values (14–416 mgHC/gTOC) indicate the presence of type III and type II kerogen. High TOC/S ratios in the Eggenburgian sediments may indicate a change to a low-salinity environment in early Miocene time. Biomarker ratios indicate strongly oxygen depleted conditions and a high contribution of diatoms to the biomass in the upper part of the Thomasl Formation. However, biogenic silica contents are generally low.

In summary, the hydrocarbon potential of the Oligocene succession in the Ottenthal section is very low. This is surprising, because rocks equivalent to the Ottenthal Formation hold an excellent source potential both in the Carpathians and in the Alpine Foreland Basin.

### References

- FUCHS, R., HAMRSMID, B., KUFFNER, T., PESCHEL, R., RÖGL, F., SAU-ER, R. & SCHREIBER, O. (2001): Mid-Oligocene Thomasl Formation (Waschberg Unit, Lower Austria) – micropaleontology and stratigraphic correlation. – In: PILLER, W.E. & RASSER, M.W. (Eds.): Paleogene of the Eastern Alps, **14**, 255–288, Wien.
- RÖGL, F., KRHOVSKY, J., HAMRSMID, B., BRAUNSTEIN, R., SAUER, R.
  & SEIFERT, P. (2001): The Ottenthal Formation revised sedimentology, micropaleontology and stratigraphic correlation of the Oligocene Ottenthal sections (Waschberg Unit, Lower Austria). In: PILLER, W.E. & RASSER, M.W. (Eds.): Paleogene of the Eastern Alps, 14, 291–345, Wien.

Text-Fig. 1. Bulk and biomarker parameters of a) the Ottenthal section and b) the Thomasl Formation in well Thomasl. Core data are shown as insets.

(1) Montanuniversität Leoben, Peter-Tunner-Straße 5, 8700 Leoben. erdoelgeologie@unileoben.ac.at

<sup>(2)</sup> Geologische Bundesanstalt, Neulinggasse 38, 1030 Wien.



### Baurohstoffvorsorge Lösse und Lösslehme

INGEBORG WIMMER-FREY (1), CHRISTIAN BENOLD (1), PETER FILZMOSER (2), MARIA HEINRICH (3), GERHARD HOBIGER (1), CAN MERT (2), JULIA RABEDER (1), HEINZ REITNER (1) & JÜRGEN M. REITNER (1)

Integrative Auswertung sedimentologischer, mineralogischer und gesteinschemischer Analysen mit statistischen Methoden und Geographischen Informationssystemen zur Charakterisierung der Eigenschaften der österreichischen Vorkommen der Lösse und Lösslehme zum Zwecke der Baurohstoffvorsorge

### **Beschreibung des Vorhabens**

Lösse und Lösslehme sind wichtige Baurohstoffe, die in der österreichischen Ziegelindustrie seit Jahrhunderten in Verwendung stehen. Um den gestiegenen Qualitätsanforderungen in der modernen Ziegelindustrie einerseits und in den neuen Einsatzfeldern im Lehmbau andererseits gerecht zu werden, wird das Wissen um die Eigenschaften und die Vorkommen bzw. die Verfügbarkeit dieser Baurohstoffe zusehends wichtiger. Je nach stratigrafischer Stellung, geomorphologischer Position, Geologie im Auswehungsgebiet, klimatischen Bedingungen, Verwitterungsintensität und Auftreten von Umlagerungen weisen Lösse und Lösslehme zum Teil heterogene Eigenschaften auf, die maßgeblich ihre Qualität als Baurohstoffe und damit ihre Einsatzmöglichkeiten beeinflussen.

### Arbeitsmethodik

Die Geologische Bundesanstalt (GBA) verfügt über eine Vielzahl an sedimentologischen, gesamtmineralogischen, tonmineralogischen und teilweise chemischen Analysen von Lössen und Lösslehmen von knapp 330 Lokalitäten im klassischen Löss-Verbreitungsgebiet Österreichs. Sie wurden im Rahmen diverser Rohstoffforschungsprojekte und Detailkartierungen erarbeitet und liegen in unterschiedlichen Teildatensätzen vor. Eine Verdichtung der Datenbasis durch zusätzliche Probenahmen und Analysen für Gebiete mit geringer Probenabdeckung ist geplant. Mit dem gegenständlichen Projekt werden die einzelnen Datensätze zusammengeführt und daraus ein einheitlicher Datensatz generiert, der mit Hilfe von statistischen Methoden ausgewertet wird. Das bearbeitete Gebiet umfasst die klassischen Lössgebiete Österreichs im ober- und niederösterreichischen Alpenvorland und im Wiener Becken. Die Ergebnisse der statistischen Auswertung werden in ein Geographisches Informationssystem (GIS) übernommen und dienen als Basis für eine Kategorisierung der Löss- und Lösslehmvorkommen, wobei sowohl bereits publizierte Gliederungsansätze, als auch aus der statistischen Auswertung abzuleitende Trends und Muster berücksichtigt werden.

### Ziele

Ziel des Projektes ist (a) die Vertiefung der an der GBA vorliegenden Wissensbasis durch den Einsatz statistischer Methoden, die auf Basis von Korngrößenverteilungen, mineralogischer und chemischer Zusammensetzung eine regionale und qualitätsmäßige Einteilung der Baurohstoffe Lösse und Lösslehme ermöglichen soll, sowie (b) die erst dadurch mögliche Ausweisung von Rohstoffbezirken mit differenzierter Darstellung der Eigenschaften und Vorkommen, die Voraussetzung für eine Implementierung der Baurohstoffe Lösse und Lösslehme in das Web-basierte Interaktive-Rohstoff-Informationssystem IRIS-Baurohstoffe ist.

 $(1) \ {\rm Geologische \ Bundesanstalt, \ Neulinggasse \ 38, \ 1030 \ Wien. \ ingeborg. wimmer-frey@geologie.ac.at$ 

(2) Technische Universität Wien, Institut für Stochastik und Wirtschaftsmathematik, Wiedner Hauptstraße 8–10, 1040 Wien.

(3) Marxergasse 37/5, 1030 Wien.

ERWIN HEINE (1)

### Hydrographische Vermessungen in Seen/Hallstätter See

### Einleitung –

### Referenzprojekt Gschliefgraben, Traunsee

Gegenüber herkömmlichen Einzelstrahlecholotmessungen ohne Sensorbewegungskompensation und häufig mit Profilabständen von mehreren Zehnermetern, stehen heute genauere und höher auflösende Messsysteme für die hydrographische Vermessung zur Verfügung. Hydroakustische Sensoren, wie Fächerecholote, Sedimentecholote und hochfrequente Seitensichtsonare wurden in den letzten Jahren auch verstärkt für das Monitoring von subaquatischen Rutschungen, Sedimentations- und Auskolkungsprozessen von inneralpinen Seen in der Schweiz (Vierwaldstättersee, Zürichsee) (HILBE et al., 2011) eingesetzt. In Österreich wurde im April 2013 mit finanzieller Unterstützung der Wildbach- und Lawinenverbauung (WLV)-Sektion Oberösterreich der subaquatische Ausläufer des Gschliefgrabenfächers in Hinblick auf ein umfassenderes Monitoring unter Einsatz von Fächerecholot und parametrischem Sedimentecholot (sub-bottom-profiler) hydrographisch vermessen.

#### Abb. 1.

Heine

Fächerecholotaufnahme der heterogen strukturierten Seebodenoberfläche zwischen Lahn und Hallstatt (Datenquelle Hintergrundbild: *basemap.at*) lizenziert unter CC BY 3.0 AT. Die anschließende Beurteilung der Ergebnisse durch die Geologen Johannes T. Weidinger und Joachim Götz zeigte das große Potenzial in Hinblick auf ihre Anwendung für geologisch-geomorphologische Untersuchungen auf (HEINE et al., 2016).

Die vielversprechenden Ergebnisse der Traunsee-Messungen sowie unter anderem auch die Erkenntnisse aus dem Projekt der Geologischen Bundesanstalt (GBA) gemeinsam mit der WLV zur Analyse des Gefährdungspotenzials durch Steinschlag/Felssturz im Gemeindegebiet Hallstatt (MELZNER et al., 2015) führten 2016 zur Beauftragung der hydrographischen Vermessungen im Hallstätter See durch die WLV-Sektion Oberösterreich.

### Aufgabenstellung und Zielsetzung

Im Bereich der Ortschaft Hallstatt sollte in Hinblick auf eine Identifizierung und Kartierung von Sturzblöcken und Rutschungen, die im Hallstätter See akkumulierten, die Topografie des Seebodens sowie die Schichtung des bodennahen Untergrundes mittels hydroakustischer Messungen flächendeckend und mit hoher Genauigkeit dokumentiert werden.

Die Ergebnisse dieser Kartierung dienen der Bestimmung von Reichweite und Magnitude vergan-

(1) Universität für Bodenkultur Wien, Institut für Vermessung, Fernerkundung und Landinformation, Peter-Jordan-Straße 82/2, 1190 Wien. *erwin.heine@boku.ac.at* 





gener Rutschungs- und Sturzereignisse und liefern so wichtige Informationen für die Steinschlagsimulation und die Gefahren- und Risikobewertung (MELZNER, 2017).

### Durchführung und Ergebnisse

Die Unterwassertopografie im Bereich Hallstatt ist gekennzeichnet durch ein steilabfallendes, felsiges Ufer, welches sich fast ohne größere Plateauausformungen bis zum nahezu flachen Seeboden auf 120 m Tiefe erstreckt. In Hinblick auf eine möglichst hohe Bodenauflösung und Punktgenauigkeit für den tiefen Bereich wurde neben dem eingesetzten high-end Fächerecholot Kongsberg EM2040C insbesondere auch auf höchste Qualität bei der eingesetzten externen Sensorik wertgelegt. So wurde ein Leica GS 25 GNSS-Empfänger für eine zentimetergenaue Positionierung eingesetzt, und das Inertialnavigationssystem iXblue Hydrins lieferte hochgenaue Drehwinkel (0,01°) für die Kompensation der Bootsbewegung. Des Weiteren wurde – um eine möglichst hohe Bodenauflösung zu erzielen – das Gebiet mehrfach und mit unterschiedlichen Abtastwinkeln aufgenommen. Aus diesem Grund liegt die Bodenauflösung auch auf 120 m Tiefe noch im Submeterbereich, obwohl die vom Messstrahl beschallte Fläche ("footprint") dort bereits einen Durchmesser von etwa zwei Metern aufweist. Des Weiteren ermöglicht diese Aufnahmekonfiguration eine gesicherte Kartierung der Objekte, da etwaige durch Fehlmessungen entstandene Artefakte durch Vergleich der Mehrfachbefahrungsdaten als solche erkannt und eliminiert werden können. Das resultierende 3D-Modell beschreibt somit flächendeckend die Unterwassertopografie mit den für geologische, geomorphologische und geotechnische Studien interessanten Details (Abb. 1). Für eine differenziertere Klassifizierung – insbesondere von Strukturen und Objekten in großer Tiefe – kann, basierend auf der vorliegenden Topografie-Information, eine ergänzende Aufnahme mittels geschlepptem, hochfrequentem Seitensichtsonar (side scan sonar) für eine hochauflösende bildhafte Darstellung durchgeführt werden.

Die Sedimentecholotmessungen wurden mit dem parametrischen Sub-Bottom-Profiler SES2000 QUATTRO der Firma Innomar durchgeführt. Dabei gelingt es, durch Ausnutzung des parametrischen Effektes, ein eng gebündeltes, tieffrequentes akustisches Signal mit hoher räumlicher Auflösung zu erzeugen, welches in der Lage ist, in den Seeuntergrund einzudringen und die Sedimentschichten zu kartieren. Anhand der sub-botom-profiler Messergebnisse können wichtige Einblicke in den Internaufbau der oberen Sedimentschichten gewonnen werden. Die in den 10 kHz-Echogrammen mit hoher räumlicher Auflösung (< 10 cm) ersichtlichen Reflektionshorizonte (Abb. 2) weisen unter anderem auf Bereiche mit lagiger Schichtung und sie trennende Diskontinuitätsflächen oder auf subaquatische Abgleitungen hin.

#### Literatur

- HEINE, E., WEIDINGER, J. & GÖTZ, J. (2016): Geologisch-geomorphologische Untersuchungen des subaquatischen Bereichs von Erdströmen in den Traunsee (OÖ) unter Anwendung von Fächerecholot und parametrischem Sedimentecholot. – Vermessung & Geoinformation, **1**/2016, 25–37, Wien.
- HILBE, M., ANSELMETTI, F.S., EILERTSEN, R.S., HANSEN, L. & WILDI, W. (2011). Subaqueous morphology of Lake Lucerne (Central Switzerland): implications for mass movements and glacial history. – Swiss Journal of Geosciences, **104**/3, 425–443, Basel.
- MELZNER, S. (2017): Steinschlag- und Felssturzdisposition im Dachsteinkalk – Versagensmechanismen und Reichweiten. – Tagungsband zur Arbeitstagung der Geologischen Bundesanstalt 2017, 126–131, Wien.
- MELZNER, S., MÖLK, M., SCHIFFER, M. & GASPERL, W. (2015): UNESCO World Heritage Site Hallstatt: Rockfall hazard and risk assessment as basis for a sustainable land-use planning – a case study from the Eastern Alps. – Geophysical Research Abstracts, **17**, EGU General Assembly 2015, EGU2015-12720, Vienna.



### Ereignisanalyse und Modellierung zur Gefahrenbeurteilung und Projekterstellung am Beispiel des Hallstätter Mühlbaches

### Einleitung

Ein kleinräumiges Starkregenereignis führte am 18. Juni 2013 zu einem Hochwasserereignis des Hallstätter Mühlbaches mit stark fluviatilem Feststofftransport. Der Unterlauf des Mühlbaches verläuft durch das Zentrum des UNESCO-Weltkulturerbe-Ortes Hallstatt im Salzkammergut (Oberösterreich). Im Zuge der Ereignisdokumentation und Ereignisanalyse wurde versucht, den Prozessverlauf nachzuvollziehen und das Ereignis 1- und 2-dimensional zu simulieren und zu rekonstruieren. Auf dieser Grundlage wurden die notwendigen Verbauungsmaßnahmen im Ortsbereich geplant und optimiert.

### **Allgemeine Beschreibung**

Durch den Hallstätter Mühlbach kam es am 18. Juni 2013 zu einem Hochwasserereignis mit stark fluviatilem Feststofftransport, das im Ortszentrum von Hallstatt im Salzkammergut (Oberösterreich) zu großen Schäden an Gebäuden und Infrastruktureinrichtungen führte.

Das Ortszentrum liegt auf dem Schwemmkegel des Mühlbaches am Ufer des Hallstätter Sees. Das 3,44 km<sup>2</sup> große Einzugsgebiet des Mühlbaches ist fächerförmig und wird durch mehrere Quellbäche gespeist. Durch das Ortszentrum von Hallstatt wird der Bach in einer viel zu klein dimensionierten Steinkünette an der linken Schwemmkegelachse bis in den Hallstätter See geführt. Darüber stürzt der Mühlbach kaskadenförmig als Wasserfall in das Ortszentrum von Hallstatt. Infolge ausführlicher Kartierungen kann das derzeitige Geschiebepotenzial im Einzugsgebiet mit 14.000 m<sup>3</sup> angegeben werden. Beim Eintreten eines Bemessungsereignisses muss mit einer Geschiebefracht von mindestens 7.000 m<sup>3</sup> gerechnet werden.

Aufgrund eines schweren Ereignisses durch den Mühlbach im Jahr 1884 wurden umfangreiche Verbauungsmaßnahmen getätigt. Die damals errichteten Konsolidierungssperren zur Geschiebebindung Stefan Janu (1) & Susanne Mehlhorn (2)

stellen eine der ältesten Verbauungsmaßnahmen der österreichischen Wildbachverbauung dar. Die jetzt mittlerweile 130 Jahre alten Verbauungen sind dringend sanierungsbedürftig bzw. zum Teil schwer beschädigt. Durch die nunmehr unzureichende Schutzfunktion der alten Verbauungen sind die Salzlagerstätten im Hochtal und der Ortsbereich stark gefährdet.

### Ereignis Hallstätter Mühlbach im Jahr 2013

Das Niederschlagsereignis von 60 mm in zwei Stunden und die Hochwasserspitze von 23 m<sup>3</sup>/s stellten nur ein ca. 30-jährliches Ereignis dar. Die ermittelte Geschiebefracht von 700 m<sup>3</sup> mit großen Korngrößen d<sub>90</sub> = 35 cm führte zu einer rückschreitenden Verlandung im viel zu klein dimensionierten Ortskanal. In weiterer Folge kam es zu Überschwemmungen, Überschotterungen und der Ausbildung mächtiger Erosionsrinnen im Ortszentrum. Durch das Ereignis waren insgesamt 32 Gebäude, davon vier mit schwersten Schäden betroffen.

### Analyse des Ereignisses

Durch die sehr ausführliche Dokumentation und Analyse des Ereignisses konnte der fluviatile Prozessablauf mit den schadensbringenden Auswirkungen im Ortsbereich sehr gut rekonstruiert werden. Der Niederschlag-Abflussverlauf wurde 2-dimensional mit FLO-2D (SCS-Verfahren), anhand der vorhandenen flächigen INCA Niederschlagsradardaten, nachvollzogen. Der zeitliche Ablauf der Hochwasserwelle (Anstieg, Spitze, abklingende Welle) stimmt sehr gut mit dem dokumentierten Ereignis (JANU, 2014) überein. Nach dem Ereignis konnten die Anschlaglinien des Spitzenabflusses an insgesamt sieben Abflussprofilen aufgenommen werden. Die Berechnung der Abflussspitze und der Transportkapazität erfolgte mit der ingenieurmäßigen profilweisen Methode. Die Berechnung des Geschiebetransportes erfolgte nach der
Formel von RICKENMANN (2001) und die Gleichung nach PALT (2001) wurde für den Transportbeginn verwendet. Die aus den Profilen berechnete Abflussspitze deckt sich faktisch mit dem Ergebnis des 2-dimensionalen Niederschlag-Abflussmodells (FLO-2D). Die theoretische Geschiebefracht bzw. Ganglinie ist auf Basis der berechneten Transportkapazität für die jeweilige Abflussmenge und der modellierten Abflussganglinie ermittelt worden. Laut dieser Berechnungen beträgt der maximale Geschiebetransport beim Ereignis 0,44 m<sup>3</sup>/s und die Geschiebefracht des Ereignisses 840 m<sup>3</sup>. Dies deckt sich gut mit der nach dem Ereignis dokumentierten abgelagerten Geschiebemenge von 700 m<sup>3</sup>.

#### Hydraulische Simulationen

Auf Basis der rekonstruierten Abfluss- und Geschiebeganglinie sind 1- und 2-dimensionale Geschiebemodellierungen des Ereignisses vorgenommen worden. Die 1-dimensionale Modellierung des Ortskanals erfolgte mit dem Programm Tom<sup>Sed</sup> (CHIARI & RICKENMANN, 2010) und die 2-dimensionalen Simulationen des Ortsbereiches wurden mit den Programmen FLO-2D und HYDRO\_GS-2D durchgeführt und die Ergebnisse verglichen. Eine Plausibilitätsprüfung der Modelle konnte aufgrund des dokumentierten Prozessablaufes vorgenommen werden. Darauf aufbauend ist die derzeitige Gefährdungssituation des Ortsbereiches im Falle eines möglichen Bemessungsereignisses simuliert worden. Auf dieser Grundlage wurden die notwendigen Verbauungsmaßnahmen im Ortsbereich geplant und optimiert. Abbildung 1 zeigt die mit FLO-2D simulierten maximalen Fließhöhen während des Ereignisses. Die simulierten Fließhöhen passen mit den tatsächlichen Fließhöhen sehr gut zusammen. Im Zuge des Ereignisses kam es zu einem rechtsufrigen Ausbruch (Abb. 1: Foto rechts oben). Da sich hier sofort eine Erosionsrinne gebildet hat, ereignete sich der Abfluss nur in östlicher und nicht auch in nördlicher Richtung.

#### **Zusammenfassung und Ausblick**

Der Schutz des UNESCO-Weltkulturerbe-Ortes Hallstatt hat für den österreichischen Staat und das Land Oberösterreich große Bedeutung. Es ist daher für die österreichische Wildbach- und Lawinenverbauung von höchster Priorität, die bereits geplanten Verbauungsmaßnahmen rasch umzusetzen. Diese umfassen im Wesentlichen den Geschieberückhalt bzw. eine starke Geschiebereduktion im Oberlauf und die Vergrößerung des Unterlaufgerinnes mit zusätzlicher Errichtung von Bypässen im Ortsbereich.

#### Literatur

CHIARI, M. & RICKENMANN, D. (2010): Back-calculation of bedload transport in steep channels with a numerical model. – Earth Surface Processes and Landforms, **36** (2011), 805–815, New York.

DOI: https://dx.doi.org/10.1002/esp.2108

JANU, S. (2014): 5.4 Hallstätter Mühlbach. – In: BUNDESMINISTE-RIUM FÜR LAND- UND FORSTWIRTSCHAFT, UMWELT UND WASS-ERWIRTSCHAFT (Hrsg.): Bericht über die Wildbachereignisse im Juni 2013 in Österreich, 87–116, Wien.

> PALT, S.M. (2001): Sedimenttransportprozesse im Himalaya-Karakorum und ihre Bedeutung für Wasserkraftanlagen. – Dissertation, Universität Fridericiana zu Karlsruhe (TH), 312 S., Karlsruhe.

RICKENMANN, D. (2001): Comparison of bed load transport in torrents and gravel bed streams. – Water Resources Research, **37**/12, 3295–3305, Washington, D.C.





# Ereignis- und Schadenskataster von Sturzprozessen (Steinschlag/Felssturz) in der Gemeinde Hallstatt

SANDRA MELZNER (1)

### Einleitung

Neben der Kartierung der Reichweite vergangener Sturzereignisse und prozessrelevanter Dispositionsfaktoren in der Felswand (MELZNER, 2017) ist die Bestimmung der Ereignishäufigkeit essenziell wichtig für eine fundierte Gefahren- und Risikobewertung. Besonders in Siedlungsbereichen, wo Sturzblöcke entfernt oder verlagert werden, oder wie im Fall der Ortschaft Hallstatt bis in den See stürzen können, bieten Archive die einzige Möglichkeit, Informationen über Prozessreichweiten und Prozessmagnituden sowie über entstandene Schäden zu recherchieren (MELZNER & BRAUNSTINGL, 2017).

#### Recherchetätigkeit

Die erforderlichen Recherchen wurden bei und/ oder in Zusammenarbeit mit folgenden Institutionen/Personen durchgeführt: Archiv und Bibliothek der Geologischen Bundesanstalt (GBA) und Expertenbefragung (z.B. Gerhard Schäffer), Archiv der Wildbach- und Lawinenverbauung (WLV), Museum Hallstatt (Ansprechpartner Hans Jörgen Urstöger und Karl Wirobal), Chronik der Gendarmerie Hallstatt (Ansprechpartner Christian Moser), Salinen Austria AG (Ansprechpartner Gerd Hofer und Josef Karrer) und Befragung von Anrainern der Gemeinde Hallstatt.

#### Verortung und Interpretation

Die Qualität der Informationsquellen variiert signifikant hinsichtlich der Genauigkeit der Verortung (geografische Lage) und des fachlichen Informationsgehaltes, wie z.B. zum Ablöse- und Akkumulationsbereich, zur Kubatur.

Einige recherchierte Ereignisdaten eignen sich aufgrund ihrer hohen Qualität hinsichtlich der Verortung der relevanten Prozessinformationen (Informationen zu Ablösebereich und Ablagerungsbereich, Abb. 1) für die Rückrechnung mittels eines Reichweitenmodells. Dies ist ein wichtiger Schritt, um das Modell, aber auch die gewählten



Abb. 1. Ein Steinschlagereignis hat 1765 das Dach der Katholischen Kirche in der Ortschaft Hallstatt beschädigt (Quelle: Oberösterreichisches Landesarchiv. KPS XVI 49b, zur Verfügung gestellt von Fritz Idam).

(1) Geologische Bundesanstalt, Neulinggasse 38, 1030 Wien. sandra.melzner@geologie.ac.at

Modelleingangsparameter, zu überprüfen. Für die Verortung der recherchierten Ereignisse ist die Zusammenarbeit mit Ortsansässigen unerlässlich, da in den meisten Quellen alte Lokalnamen erwähnt werden, die mit den heutigen Lokalnamen in den aktuellen Kartenwerken nicht mehr übereinstimmen. Aufgrund der Tatsache, dass die Ereignisinformationen oftmals keine oder lediglich relative, beschreibende Angaben zur Kubatur enthalten, wurden die Ereignis-Informationen hinsichtlich der Magnitude interpretiert. Auf Basis des Verhältnisses "Magnitude des Ereignisses" und "resultierender Schaden" war eine Klassifizierung der Ereignisse in vier relative Intensitätsstufen möglich, wodurch das künftige Schadenspotenzial verdeutlicht und visualisiert werden kann.

#### Ereignisse sowie Personen- und Sachschäden

Mittels Recherchen und Kartierung wurden Informationen zu insgesamt 76 Sturzereignissen mit Ereignisdatum zusammengetragen. Für den Bereich der **Echernwand** liegen nun Informationen zu 18 Ereignissen (Zeitraum 1861–2014) vor. Dies entspricht einer Ereignishäufigkeit von einem Ereignis/8,5 Jahre. Für den Bereich der Hirlatzwand sind nun 26 Ereignisse (Zeitraum 1801–2014) dokumentiert. Dies entspricht einer Ereignishäufigkeit von einem Ereignis/8,2 Jahre. Im Bereich der Ortschaft Hallstatt wurden 22 Ereignisse (Zeitraum 1652–2008) dokumentiert. Dies entspricht einer Ereignishäufigkeit von einem Ereignis/16 Jahre. Für den Bereich der **Hohen Sieg** liegen lediglich Informationen zu einem Ereignis im Jahr 1991 vor, anhand der "Stummen Zeugen" wird jedoch deutlich, dass in diesem Bereich auch in der Vergangenheit häufiger Sturzprozesse stattfanden. Hinsichtlich der durch diese Ereignisse verursachten Schäden kann zusammenfassend abgeleitet werden, dass im Bereich der Echernwand in der Vergangenheit leichter Schaden an einem Gebäude und großer Schaden an einem weiteren Gebäude verursacht wurde. Ferner gelangten dort einige Sturzblöcke sehr nah an den Siedlungsbereich in unbebaute Flächen. Durch Sturzprozesse von der Hirlatzwand waren Schäden am ehemaligen Sudhaus (heutige Tankstelle), im Bereich des ehemaligen Gemeindehauses/ Kirche/Kapelle und entlang des Forstweges in das Hochtal häufiger betroffen. Oft war der Schaden groß; Im Bereich der **Ortschaft Hallstatt** wurden diverse Häuser durch Sturzereignisse beschädigt oder zerstört, unterhalb des Rudolfsturms wurde im Jahr 1997 ein Mensch durch einen herabstürzenden Stein am Kopf verletzt. Entlang der **Hallstättersee Landesstraße (L 547) in Richtung Gosaumühle** ereigneten sich diverse Male Sturzereignisse, was zu drei Todesopfern führte.

#### Fazit

Eine Zunahme von dokumentierten Ereignissen ist ab dem Jahr 1950 zu verzeichnen. Es ist davon auszugehen, dass diese Frequenzzunahme nicht bedeutet, dass sich vor 1950 weniger Sturzereignisse ereigneten, sondern dass sich die Wahrnehmung der Bevölkerung gegenüber einer potenziellen Gefahr und die Dokumentationsmöglichkeiten/-methoden geändert hatten. So ist beispielsweise auffällig, dass durch die ersten 12 dokumentierten Ereignisse in der Zeitspanne 1652 bis 1907 durchwegs Häuser beschädigt oder gänzlich zerstört wurden. Es ist sehr wahrscheinlich, dass kleinere Ereignisse bzw. Ereignisse, die keinen größeren Schaden angerichtet hatten, von der Bevölkerung nicht dokumentiert wurden und somit in dieser Ereignischronik nicht aufscheinen.

#### Dank

Hans Jörgen Urstöger und Karl Wirobal (Museum Hallstatt), Fritz Idam (Hallstatt), Christian Moser (Polizeiinspektion Hallstatt) sowie der Bevölkerung in der Ortschaft Hallstatt für die Bereitstellung von Daten und die Unterstützung bei der Verortung der Ereignisinformationen.

#### Literatur

- MELZNER, S. (2017): Steinschlag- und Felssturzdisposition im Dachsteinkalk – Versagensmechanismen und Reichweiten. – Tagungsband zur Arbeitstagung der Geologischen Bundesanstalt 2017, 126–131, Wien.
- MELZNER, S. & BRAUNSTINGL, R. (2017): Erstellung eines Ereignis- und Schadenskatasters auf Basis der Chroniken der Polizei Salzburg. – Tagungsband zur Arbeitstagung der Geologischen Bundesanstalt 2017, 208–209, Wien.

# Geoelektrische Messungen im Hallstätter Salzbergwerksstollen

DAVID OTTOWITZ (1), BIRGIT JOCHUM (1), KONSTANTINOS TSAKIRBALOGLOU (2), JUNG-HO KIM (3) & HANS RESCHREITER (4)

Im Auftrag der Prähistorischen Abteilung des Naturhistorischen Museums Wien (NHM) wurden in Stollen des Salzbergwerkes Hallstatt Messungen zur Erkundung von prähistorischen Abbaubereichen durchgeführt. Hierfür wurden die Kabel in einer 3D-Anordnung im Kaiser Josef und im Kaiserin Christina Stollen ausgelegt, womit der Bereich zwischen den beiden Stollen erkundet wird. Die Messkabel in den beiden Stollen wurden über den Seeauerschurf miteinander verbunden. Der Elektrodenabstand betrug 4 m, pro Auslage wurden je 45 Elektroden im oberen und unteren Stollen verwendet, für jede Auslage wurden die gesamten Kabel um 64 m Richtung Stolleneingang verschoben.

Geologisch befinden sich diese Stollen im steinsalzreichen Haselgebirge, bereits zur Bronzezeit (etwa 2200 bis 800 v. Chr.) wurde Bergbau betrieben, die damaligen Gruben wurden jedoch durch toniges Hangrutschmaterial verfüllt.

Generell zeigt das erhaltene Modell einige großräumige Anomalien (hoher und niedriger spezifischer elektrischer Widerstand), die größtenteils mit der bekannten geologischen Situation (Kalkstein, Steinsalz, Tonstein usw.) erklärbar sind. Vor allem im Nahbereich der beiden Stollen sind einige kleinräumige Anomalien diversen abzweigenden Stollensystemen oder auch anderen Bergwerkseinrichtungen ansatzweise zuordenbar. Obwohl die Auflösung des Untergrundes mit der Entfernung zum jeweiligen Stollen abnimmt, konnten bekannte bzw. unbekannte Bereiche des ehemaligen Bergbaus gemeinsam mit Experten des NHM im geoelektrischen Messergebnis identifiziert werden (Abb. 1).

Dennoch wurde während dieser Messkampagne erkannt, dass vor allem im Bereich der Messkonfiguration, deren Wahl für eine optimale Auflösung bestimmter Untergrundbereiche (größere Entfernung vom Stollen) entscheidend ist, noch Verbesserungspotenzial besteht. Aus diesem Grund ist für 2017 eine weitere Messkampagne geplant.



Abb. 1. Ergebnis der geoelektrischen Messungen – Verteilung des spezifischen elektrischen Widerstandes (Ωm), Aufsicht sowie Geoelektrischer Messaufbau im Christina Stollen.

(1) Geologische Bundesanstalt, Neulinggasse 38, 1030 Wien. david.ottowitz@geologie.ac.at
 (2) Aristotle University of Thessaloniki, Department of Geophysics, Thessaloniki 541 24, Griechenland.
 (3) Korea Institute of Geoscience and Mineral Resources, Gwahang-no 124, Yuseong-gu, Daejeon, 305-350 Korea.
 (4) Naturhistorisches Museum Wien, Prähistorische Abteilung, Burgring 7, 1010 Wien.

# **EXKURSIONEN**

Charles Charles



# Exkursion 1A (20.06.2017): Kalksteinbruch Starnkogel

#### BEATRIX MOSHAMMER (1)



Abb. 1. Lage des Steinbruchs Starnkogel.

#### **Geografische Lage**

Der Starnkogel befindet sich 2,5 km nordöstlich von Bad Ischl und bildet zusammen mit Graseck (928 m) im Norden und östlichem Gstättenberg (916 m) eine dem Hauptkamm vorgelagerte Berggruppe im Westen des Trauntals (Abb. 1). Seine W–Egelängte Kuppe hat sich durch den Steinbruch, der seit Beginn der 1970er Jahre den Rohstoff für das in 1 km ESE entfernte Kalk- und Putzwerk in Roith liefert, mit Ausnahme seiner östlichen Schulter, von 830 m auf 780 m Seehöhe verringert.

#### **Regionalgeologisches Umfeld**

Auf dem Ausschnitt der geologischen Karte GK50 Blatt 96 Bad Ischl (SCHÄFFER, 1982) in Abbildung 2 wird gezeigt, dass der Starnkogel, der im südlichen Randbereich der Staufen-Höllengebirge-Decke des Tirolikums liegt, aus gebanktem, untergeordnet massigem Dachsteinkalk (Leg.-Nr. **57**, **58**) und Kössener Schichten (**59**) aufgebaut wird. Östlich setzt Dachsteinkalk dolomitisiert mit Loferit (**60**) ein, gefolgt von Hauptdolomit (**61**). Im Norden ist längs des von Hangschutt überrollten Sattels zum Hauptdolomit des Grasecks hin eine Störung anzunehmen. Die West- und Südumrahmung bilden Gosaumergel- und Sandsteine (**42**), in denen auf der Südseite isolierte Jurakalke auftreten (**45**). Letztere erwiesen sich nach SCHLAGINTWEIT

Abb. 2.

Ausschnitt aus der Geologischen Karte der Republik Österreich 1:50.000, Blatt 96 Bad Ischl von SCHÄFFER (1982).



(1) Geologische Bundesanstalt, Neulinggasse 38, 1030 Wien. beatrix.moshammer@geologie.ac.at



Abb. 3. Luftbild des Starnkogel Steinbruches vom 09.05.2016, zur Verfügung gestellt von Firma Baumit Bad Ischl.

et al. (2005) am Rand des Jainzenberges als kieselige Sedimente des Oberjura. Der Hauptast der Trauntal-Störung, die einen Abschnitt im miozänen sinistralen Königssee-Lammertal-Traunsee Blattverschiebungssystem repräsentiert (DECKER et al., 1994), zieht nördlich des Grasecks gegen Ostnordost und wird begleitet von Haselgebirge (88), dolomitisiertem Dachsteinkalk (60), Kössener Schichten (59), Jura-Kalken (45) und Gosauschichten (42), die im Hauptdolomit eingeklemmt sind. Der Starnkogel bildet in der Staufen-Höllen-

#### Abb. 4.

Historische Abbaukulisse der Ost-, Süd- und Westwand vom 11.12.2004. Südwand mit Muldenstruktur, Westwand mit angedeuteter Sattelstruktur. Sohle in 770 m Seehöhe, Etagen von 780 m, 795 m und 805 m, und im Westen zusätzlich von 820 m und 830 m Seehöhe. gebirge-Decke das westlichste Vorkommen aus Dachsteinkalk und stellt daher die geologische Fortsetzung des westlichen Toten Gebirges dar. Eine Besonderheit des Vorkommens sind eine zwischen Dachsteinkalk und Kössener Schichten vermittelnde fazielle Übergangsabfolge (SIBLIK et al., 2010). Weiter im Süden um Bad Ischl folgen Dachstein- und Hallstätter Decke des Juvavikums.

#### Hochreiner Kalkstein im Steinbruch Starnkogel

Mit freundlicher Genehmigung der Firma Baumit Baustoffe GmbH Bad Ischl wurden zwischen 2003 und 2007 in mehreren Projekten geologische Untersuchungen durchgeführt, um dieses Vorkommen, das wegen seines chemisch hochreinen bis reinsten Kalksteins (> 98 % CaCO<sub>3</sub>, nach ÖNORM G 1046 Teil 3, 1985) genutzt wird, in paläogeografischer, karbonatfazieller und tektonischer Hinsicht besser kennenzulernen und mit Vorkommen ähnlicher Rohstoffqualität vergleichen zu können (LEUPRECHT & MOSHAMMER, 2005, 2007; Moshammer, 2003, 2004, 2007, 2008). Die umfangreiche Produktpalette, die im Kalk- und Putzwerk aus dem gewonnenen Kalkstein erzeugt wird, kommt vor allem im Baustoffsektor zur Anwendung.

Die Situation hat sich durch die fortschreitende Gewinnung seit dem Bearbeitungszeitraum deutlich verändert. In der von der Firma zur Verfügung gestellten Panoramaaufnahme (Abb. 3) wird ein Luftbild vom aktuellen Abbau vorgestellt. Der Steinbruch ist ca. 400 m lang und bis zu 150 m breit und in drei Etagen bei 778 m, 770 m und der aktuellen Sohle bei 758 m Seehöhe gegliedert.





Zur Dokumentation der Aufschlussbedingungen, die vor der Steinbrucherweiterung nach Westen und der Tieferlegung der Südkulisse angetroffen wurden, dient das historische Panorama in Abbildung 4, aufgenommen Ende 2004.

Die zu jenem Zeitpunkt aufgeschlossene Steinbruch-Gesamthöhe zwischen damaliger Sohle bei 770 m und der damals obersten Etage bei ca. 805 bis 830 m bot nicht nur lateral, sondern auch vertikal einen großräumigen Einblick in die Gesteinsabfolge und die Lagerungsverhältnisse des Starnkogelrückens.

# Geologische Karte, Gesteinsabfolge und Mikrofazies (Ausarbeitungsstand 2007/2008)

Die zusammengefasste Geländebeobachtung und, soweit möglich, Proben- und Schliffauswertungen sind der geologischen Karte zugrunde gelegt. Darin wird die zwischen 2003 und 2007 kompilierte geologische Situation mit tektonischen Signaturen ausgearbeitet und auf der Topografie der Tagbaukarte von 2006 wiedergegeben. In der in Abbildung 5 dargestellten Karte wurde jedoch die ursprünglich unterlegte Tagbaukarte gegen die aktuelle von 2016 ausgetauscht. Auch wenn





#### Abb. 6.

Zusammengesetztes Detailprofil des Starnkogels durch Steinbruch-Ostteil und Südflanke von Manfred Leuprecht. Abfolge vom Liegenden in das Hangende: Dachsteinkalk norischer Anteil (5) – Übergang (3) – Kössener Schichten (2, 4) – Dachsteinkalk rhätischer Anteil (1) – ?Kirchsteinkalk.

Rechts: Gemeinsame Legende zu den Abbildungen 6 und 7.

dies bei den Ausbisslinien innerhalb der veränderten Steinbruchtopografie Diskrepanzen verursacht, erscheint es vertretbar, um die aktuelle Lagerstättensituation darzustellen.

Die Gliederung der Gesteinsabfolge ist im annähernd mächtigkeitsgetreuen und etwas schematisierten Detailprofil der Abbildung 6 wiedergegeben, das von Nordosten nach Südwesten quer zum Schichtstreichen durch den weniger tektonisierten Ostbereich verläuft. Dünnschlifffotos aus Tafel 1 verdeutlichen mikrofazielle Merkmale der einzelnen Schichtglieder.

Eine undeutlich dickbankige Kalkfolge aus norischem Dachsteinkalk, der dolomitische stromatolithische Einschaltung aufweist, bildet das schroffe Gelände des westlichen Gstättenberges im Osten des Steinbruches. Sie wird als das liegendste Schichtglied angesehen, das in Zusammenhang mit der Abfolge im Steinbruch steht, obwohl sie von der östlichen Steinbruchumrandung, die ebenfalls aus dicken, flach lagernden Kalkbänken besteht, durch eine Nord–Süd-Störung getrennt ist. Dieser liegende Bereich ist in der geologischen Karte dunkelgelb, im Detailprofil mit "5" ausgewiesen. Ein Schliff daraus zeigt Korallenbruchstücke in peloidaler, leicht mikritischer Matrix (Taf. 1, Fig. 1).

Die nördliche, tektonisch inhomogene Längsseite des Steinbruches wird aus ähnlichen dicken Kalkbänken aufgebaut, in der jedoch die mergeligen Einschaltungen an Mächtigkeit zunehmen und damit zu den mergeligen Kössener Schichten vermitteln. Eine Probe von der nordwestlichen Steinbruchecke zeigt im Dünnschliff spätig zementierte Bioklasten von Korallen, Echinodermen und Biodetritus (Taf. 1, Fig. 2). Diese Übergangsfolge zwischen norischem Dachsteinkalk und Kössener Schichten wird ca. 18-20 m mächtig, ist im Detailprofil als "3" bezeichnet und in der geologischen Karte mit den hangenden Kössener Schichten in hell-lila zusammengefasst. Mit einem Korallenkalk setzt die Abfolge der Kössener Schichten ein. Diese bestehen aus dunklen mergeligen, wellig bis knolligen, fossilführenden Kalken mit Korallen, Brachiopoden und Bivalven, und wechsellagernden dm-mächtigen Tonmergeln. Die auf der geologischen Karte dargestellte Verbreitung der eingeschalteten Brachiopoden- (dunkel-lila), Korallen- (blau) und Korallenschuttkalke (hellblau) sowie der obersten welligschichtigen Bankkalk-Sequenz (oliv) kennzeichnet die Kössener Schichten innerhalb der lila Farbe. Die Tatsache, dass sie nur für Schotterprodukte verwendet werden können und ansonsten zu verhalden sind, hat dazu geführt, dass der Nordbereich und der Bergrücken am Abbau-Ostrand bisher wenig abgebaut wurden. Beginnend bei 780 m Sh konnte längs des Etagenaufgangs an dieser östlichen Erhebung das im Detailprofil mit "2" bezeichnete, ca. 27-30 m mächtige Profil aufgenommen werden. Es beginnt mit wenige Meter mächtigen Kalkbänken, die wahrscheinlich Korallenkalke (boundstones) darstellen, welche jedoch sicher erst auf der Südostseite nachgewiesen werden konnten (Taf. 1, Fig. 3). Es folgen knollig-wellige Mergel mit Kalkknollen, mergelige Kalkbänke mit einzelnen Brachiopoden und Bivalven, dunkle Kalke mit Grabgängen und Verwühlung, harte pyrithaltige Korallenschuttbänke sowie schwarze tektonisch verdichtete Tonmergel mit einzelnen Kalkknollen. Letztere erweisen sich als ein drucklösungsüberprägter, stark kondensierter Bioklastkalk (Taf. 1,

Fig. 4). Die röntgendiffraktometrisch bestimmte Zusammensetzung einer Probe aus den schwarzen Tonmergeln ergab ca. 20 % Quarz, ca. 25 % Calcit, < 5 % Dolomit, ca. 40–50 % Tonminerale (überwiegend Illit/Hellglimmer-Gruppe, Spuren von Chlorit/Kaolinit) und Spuren von Pyrit. Diese Schichtfolge endet im östlichen Top-Bereich an einer Störung. In westlich lateraler tieferer Fortsetzung findet sich die als Kössener Schichten-Abschluss interpretierte charakteristische, wenige Meter mächtige Sequenz aus welligschichtigen teilweise Korallenbruch-führenden dunklen Bankkalken mit 1 cm dicken zwischengelagerten türkisgrünen Mergellagen. Neben gradierten, sterilen, dünnschichtigen Karbonatsilten mit Fließfalten treten tempestitische Muschellagen darin auf (Taf. 1, Fig. 5). Im Detailprofil sind sie mit "4", in der geologischen Karte in Oliv dargestellt.

Aus dieser Kössener Abfolge beschreiben SIBLIK et al. (2010) Bivalven – *Inoperna* (*Triasoperna*) *schafaeutli* (STUR, 1851), Brachiopoden – *Rhaetina pyriformis* (SUESS, 1854), *Zeilleria* cf. *austriaca* (ZUGMAYER, 1880), *Zeilleria norica* (SUESS, 1859) und Ichnofossilien – *Thalassinoides* und ziehen Vergleiche zum Hochalm Member (sensu GOLE-BIOWSKI 1991).

Darüber folgt eine ungefähr 60 m mächtige Schichtfolge, die dem rhätischen Dachsteinkalk zugeordnet wird und in der geologischen Karte in hellgelb bzw. als "1" im Detailprofil ausgewiesen ist. Es sind dies meist helle, beige, chemisch hochreine Kalke. Ihre manchmal noch unterteilten Bänke sind durchschnittlich etwa 2 m dick. In den Bankungsfugen treten dünne grüne (seltener rostrote) tonige Lagen auf, deren Dicke in wenigen Niveaus auf 10 cm ansteigt. Nur dort sind auch Knollen und Stylolithen entwickelt und darüber bräunliche Bänke mit Kalkschwämmen vorhanden (Taf. 1, Fig. 7). Der Großteil der Abfolge wird aus Aggregatkorn-, Foraminiferen-, Algen-, Onkoid- und bisweilen Ooidkalken (Taf. 1, Figs. 6, 8) gebildet und als Ablagerung eines gut durchlüfteten lagunären Flachwasserbereiches interpretiert. Charakteristisch sind die immer wieder auftretenden Megalodonten. Als Leithorizonte können die überdurchschnittlich dickbankige helle Basis der Abfolge sowie eine auffällige Bank mit Megalodonten, die in Lebensstellung erhalten sind, angesehen werden, während Bänke aus Schwammkalken, mächtigere Tonlagen und Oolithe weniger klar zu parallelisieren sind. Makroskopisch interpretierte Stromatolith-Einschaltungen, die im De-



# Tafel 1.

Mikrofaziesausschnitte der im Detailprofil dargestellten Schichtfolge.

**Figs. 1, 2:** Norischer Dachsteinkalk: Hinterriff-Korallenschuttfazies mit teilweise starker Mikritisierung der Komponenten. Nahe Brecheranlage 780 m Sh (1), Übergang in Kössener Schichten, NW-Ecke Etage 770 m (2).

**Figs. 3–5:** Kössener Schichten: Korallen-boundstone, alter Weg bei 780 m an östlicher Steinbruch-Außenseite (3). Biodetritus-packstone einer Kalkknolle der Kössener Mergel-Obergrenze vom Top der Osterhebung, 835 m Sh (4). Lumachelle-Bank aus dem Übergang von Kössener Schichten in rhätischen Dachsteinkalk, Südost-Ecke Etage 780 m (5).

Figs. 6-8: Rhätischer Dachsteinkalk: Gut durchlüftete Flachwasserfazies mit foraminiferenreichen Peloid-, Aggregatkorn-, Onkoid- und Ooid-Kalken, stellenweise mit Megalodonten-Anreicherungen und Resten von Kalkschwämmen. Südost-Ecke Etage 804 m (6), Blockwerk östlich außerhalb Etage 804 m (7). Oolith (8) aus 110 cm mächtiger Oolith-Bank, die im liegenden Teil aus Megalodontenfloatstone gebildet wird und eine grobwülstige Schichtunterfläche zu grünem Mergelband aufweist, unmittelbar westlich des Synklinalkerns auf Etage 780 m. Fig. 9: Hangendster rötlich pigmentierter Abschnitt im rhätischen /?"rhätoliassischen" Dachsteinkalk mit Hohlraumgefügen in wackestone mit Triasinen, Glomospiren, Ostrakoden, Cephalopoden. Südabhang, tektonischer Einschnitt, 675 m Seehöhe. Fig. 10: Fleckiger Hornsteinkalk, möglicherweise Kirchsteinkalk, der im Schliff rekalzifizierte Schwammnadeln und Ostracoden erkennen lässt; hangaufwärts vom erwähnten rötlichen Kalkvorkommen in Fig. 9 bei 705 m Seehöhe kleinräumig aufgeschlossen.

tailprofil dargestellt sind, wurden mikroskopisch nur selten bestätigt. Vermutlich fehlen daher vollständige Lofer-Zyklotheme sensu FISCHER (1964). Die semiquantitative petrografische Zusammensetzung einer Probe aus den grünen Tonen ergab < 3 % Quarz, Spuren von Albit, Pyrit und möglicherweise Rutil, < 5 % Calcit und Tonminerale (Illit/ Hellglimmergruppe und wahrscheinlich Glaukonit, der methodisch aber nicht verifizierbar war). Für die Rohstoffqualität stellen die Tone keine Beeinträchtigung dar, weil sie sich bei der Aufbereitung auswaschen lassen.

Das Hangendste dieser Schichtfolge bilden nur 0,5 m mächtig aufgeschlossene, leicht angerötete und geflaserte dichte Kalke. Sie gehen vermutlich vertikal bis lateral aus Dachsteinkalk hervor. Mikrofaziell sind sie von den untersuchten Dachsteinkalken nicht durch ihre Foraminiferen (Triasinen, Glomospiren), sondern durch auftretende Stromatactis-Gefüge und möglicherweise Cephalopoden zu unterscheiden (Taf. 1, Fig. 9). Sie wurden nur an einer Stelle bei 675 m Sh am Südhang im Verband mit grauem Dachsteinkalk gefunden und rot in der geologischen Karte dargestellt. Grün ausgewiesen sind die ebenfalls in diesem Bereich auftretenden Fleckenmergel bis Kieselkalke, die als Kirchsteinkalk (Unterjura) angesprochen werden (Taf. 1, Fig. 10). Diese kieseligen Schichten sind durch einen zeitlichen, tektonisch verursachten Hiatus von der liegenden Abfolge getrennt. Sie

sind, tektonisch begrenzt, auch im südöstlichen kleinen Steinbruch bei 600 m Sh aufgeschlossen, wo sich Fördereinrichtungen befinden (Mundloch des Förderstollens, Trockensiebanlage, Ladestation für LKW). In Abbildung 3 befindet sich dieser ehemalige Steinbruch im rechten unteren Bereich.

Im Norden und um den Westsporn sind auffallende Hangschutt- und Blockschuttkörper vorhanden. Jenseits davon kommen nordwestlich des Steinbruches Gosaumergel zum Vorschein.

# Tektonik und grobe stratigrafische Übersicht anhand der Auswertung 2007

Das Blockdiagramm (Abb. 7) gibt die nach Südsüdost gerichtete Ansicht der Schichtfolge und Lagerung innerhalb des Steinbruches von ungefähr dem Standort wieder, wo 2005 der Durchbruch auf der Nordseite geschaffen wurde.

Tektonisch handelt es sich um eine südfallende Synklinale. Diese erscheint im Nordwesten an einen nur mehr reliktisch erhaltenen Sattel angepresst.

Die dargestellte Schichtfolge beginnt im Liegenden mit dem im Osten und teilweise im Norden auftauchenden norischen Dachsteinkalk (dunkelgelb und orange), der mit zunehmend tonigen Einschaltungen (violett) den Sedimentationsumschwung in die Folge der Kössener Schichten anzeigt. Die auf die Deformation am anfälligsten reagierenden Kössener Schichten sind in violett



gehalten. Am mächtigsten treten sie in der Erhebung am östlichen Abbaurand auf. Sie stellen jedoch ebenso, wenngleich tektonisch reduziert, den tieferen Teil der Synform am Nord- und Nordwestrand des Abbaues dar. In dieser Kössener Schichten-Abfolge vollzieht sich lateral im Bereich der westlichen Etagen eine Faziesänderung hin zur lagunären Dachsteinkalkentwicklung. Die Synklinale selbst tritt schließlich in einer Muldenfüllung aus kompetentem rhätischem Dachsteinkalk (hellgelb) entgegen. Schwarz hervorgehoben sind tektonisch überprägte Schichtflächen und die in den Kössener Schichten auftretenden, stark zerscherten Tonund Mergellagen.

Der mit Ausnahme des Westsporns vollständig vom Steinbruch eingenommene Starnkogel-Rücken zeigt in dieser Ansicht zwei tektonische Begrenzungen: Im Norden verläuft ein Ast der Trauntal-Störung (Nordstörung), an der, hier nicht eingezeichnet, Gosauschichten im Nordwesten angrenzen und im Norden der Hauptdolomit des Grasberges folgt. Links in der Abbildung trennt eine Nord–Süd verlaufende Störung (als Oststörung bezeichnet) den Starnkogel vom Gstättenberg. Die an diesen Störungen abgelaufenen Bewegungen wirken sich auf die gesamte innere Struktur der Abfolge so aus, dass die vermutlich zuerst in die Mulden-Sattel-Struktur eingeengte und steil südfallend aufgestellte Abfolge später im Zuge der sinistralen Trauntal-Störung in Nordost-Richtung versetzt und ausgelängt wurde. Wie es sich mit der östlich des Vorkommens durchziehenden Nord–Süd-Störung verhält, ist unklar.

Die Bezeichnung der Muldenfüllung als rhätischen Dachsteinkalk und nicht als Oberrhätkalk beruht darauf, dass die Kössener Schichten mit der Hochalm-Member zu parallelisieren sind und in diesem Teil des Tirolikums nach der Zusammenstellung von MANDL et al. (2009) den Dachsteinkalk zeitlich unterteilen.

Auf der abgewandten Seite des Blockdiagramms am Südhang bewirkt die Störungszone in Verlängerung der Muldenachse den tektonischen Einschnitt mit den jüngsten Muldensedimenten und der nach-



folgenden Juraentwicklung.

Für die Gefügediagramme der Schichtflächen (Abb. 8, linke Spalte) gilt, dass in den Großkreisund Contour-Darstellungen im Schmidt'schen Netz die nach Südwest mit einem Faltenöffnungswinkel von ca. 50° abtauchende, mäßig steile Faltenstruktur erkennbar ist. Die Schichtflächen pendeln um die dominante W-E Streichrichtung. Die untergeordneten Streichrichtungen verlaufen NW-SE und NE-SW. Es fällt auf, dass keine Schichten nach Nordosten einfallen.

Abb. 8. Großkreis-, Contourund Rosendiagramme zusammengefasst für die gesamten Schichtflächen (linke Spalte) und die gesamten Kluft- und Störungsflächen (rechte Spalte) des Untersuchungsgebietes. Für die entsprechenden Diagramme der Kluftund Störungsflächen (Abb. 8, rechte Spalte) gilt, dass sie wesentlich steiler bis saiger einfallende Flächen veranschaulichen. Die dominierende Streichrichtung verläuft NE–SW. Vielfach zeigt sich, dass häufig Kluft- und Störungsflächen im Steinbruchbereich mit der zu ihnen parallel ausgerichteten Trauntal-Störung ursächlich in Verbindung stehen.

Von den zahlreichen Störungsflächen sind für den Abbau besonders jene mit tonigen Störungsgesteinen (fault gauge) an den Harnischflächen ungünstig, da sie die Rohstoffqualität negativ beeinflussen. Sie bilden im westlichen Muldenbereich bis in den 10er Meterbereich sich erstreckende, +/- saiger stehende und zwischen E–W und SSE–NNW streichende Blattverschiebungen. Seltene, aber gefährlich erscheinende Scherbrüche mit flachem N- bis NW-Fallen wurden im tieferen Bereich des Muldenkerns festgestellt.

# Ergänzende und aktualisierte Darstellung der Schichtfolge und Karbonatmikrofazies des lagunären Dachsteinkalkes vom Starnkogel bei Bad Ischl unter Mitwirkung von Michael Moser (GBA) im Zuge der Tagungsvorbereitung

Die **Obertrias-Karbonatfolge** ist im Steinbruch in einer engen, in Richtung Nordost aushebenden Synklinale aufgeschlossen, deren Kern von rhätischem Dachsteinkalk gebildet wird. Das Schichtstreichen ist fast durchgehend NE–SW orientiert und die Fallwerte belegen den nordwestvergenten Faltenbau. Die in den Dachsteinkalk eingeschalteten Kössener Schichten des unteren Rhätiums (Hochalm-Member) kommen nur am Nordrand und Ostrand des Steinbruches zutage. Die Verbreitung des norischen Dachsteinkalkes im Liegenden der Kössener Einschaltung ist im Norden und Nordosten anzunehmen, biostratigrafisch bisher jedoch nicht klar abgrenzbar.

Betreffend die **Makro- und Mikrofazies** des Starnkogel-Vorkommens wurden nachträglich die folgenden Merkmale erfasst und auch mit ähnlichen Flachwasserkarbonaten verglichen:

Die Proben des gebankten, meist rhätischen, hellgrauen-hellbeigen lagunären Dachsteinkalkes entstammen vorwiegend dem **C-Glied des Lofer-Zyklothems** (FISCHER, 1964). Aufgrund der mikritischen Matrix sind sie nach DUNHAM (1962) meist als wacke-, pack- und floatstones anzusprechen. Kleinere Partien und Zwickeln sind jedoch matrixfrei und als grainstones zu bezeichnen. Im Vergleich mit lagunären Sedimenten des Wetterstein- und Stei-

Moshammer

nalmkalkes erweist sich unser Dachsteinkalk als deutlich feinkörniger. Seine Mikrofossilführung ist stets hoch und wird von Molluskenschalen, Crinoidenstreu und reichlich Foraminiferen bestimmt. Wie in allen lagunären Sedimenten (Dachsteinkalk, Plattenkalk, Steinalmkalk, Wettersteinkalk) dominieren Molluskenschalen in Form von Bivalven und Gastropoden das Makrofossilspektrum. Für die Molluskenschalen unseres Dachsteinkalkes gilt, dass sie oft größer (cm- bis dm-Größe) ausgebildet sind als im gleichalten Plattenkalk (nur cm-Größe). Pachydonte Bivalven bis 20 cm Größe, wie Megalodonten und Dicerocardien, können hier im Dachsteinkalk immer wieder angetroffen werden. Während sich Brachiopoden darin nur selten finden, stellen jene in den liegenden Kössener Schichten oft die zweit- oder dritthäufigste Komponente. Hin und wieder angetroffene umgelagerte Korallen- und Schwammbruchstücke sind ein Hinweis darauf, dass Riffsedimente bei Sturmfluten in die Lagune gelangten. Als Besonderheit können korallenreiche Riffkalke von der östlichen Steinbruchaußenseite längs eines alten Weges erwähnt werden. Deren Stellung im Profil könnte dem Lithodendronkalk-Niveau am Top des Hochalm-Members der Kössen-Formation (GOLEBIOWSKI, 1991: 88) entsprechen und würde somit direkt den rhätischen Dachsteinkalk unterlagern.

**Dasycladaceen** (Grünalgen) treten im untersuchten Dachsteinkalk weitaus seltener als im Wetterstein- und Steinalmkalk auf, sind auch um einiges kleiner und oft erst im Dünnschliff zu erkennen. Neben den Grünalgen sind auch porostromate Algen enthalten.

Die ermittelten Foraminiferenfaunen sind sehr uniform ausgebildet. Es dominieren die oft stark rekristallisierten, elliptisch-angularen Aragonitschaler aus der Familie der Involutinen und Trocholinen, gefolgt von den kreisrunden Triasinen, deren Hauptverbreitung in der Obertrias (karnischer Wettersteinkalk, Tisoveckalk, Dachsteinkalk, Plattenkalk, Oberrhätkalk) gelegen ist. Weiters sind Glomospiren, Glomospirellen und Frondicularien im Dachsteinkalk des Starnkogels häufig anzutreffen. Die zerbrechlich langen Nodosarien sowie auch die Frondicularien sind eher unter ruhigen Ablagerungsbedingungen (mudstones) erhalten geblieben. Im Gegensatz dazu sind miliolide Foraminiferen wie Ophthalmidien in Gebieten mit stärkerer Wasserbewegung anzutreffen und treten dann auch im Zusammenhang mit umgelagerten Rifforganismen (Korallen, Schwämme) auf.

**Mikroproblematika** sind ebenso im behandelten Dachsteinkalk häufig anzutreffen. Am meisten ist es die für die Obertrias (Karnium–Rhätium) und den Oberjura charakteristische *Thaumatoporella parvovesiculifera* RAINERI, die in manchen Biopelmikriten und -spariten oft fast die einzige biogene Komponente darstellt. Ebenso häufig anzutreffen sind die verzweigten Netzwerke von *Bacinella* sowie, aus riffnahen Bereichen umgelagert, *Tubiphytes*-Knollen.

Onkoide sind im lagunären Dachsteinkalk immer wieder zu beobachten, sind jedoch weitaus seltener als im lagunären Steinalm- oder Wettersteinkalk. Sie sind oft unterschiedlich groß (Mikroonkoide, Mesoonkoide) und liegen, im Gegensatz zum pelsparitischen Wettersteinkalk, in einer mikritischen Grundmasse (Onkobiopelmikrite). Neben Onkoiden können gelegentlich auch Rindenkörner ("Cortoide") und Aggregatkörner (grapestones, lumps) im lagunären Dachsteinkalk angetroffen werden. Die oftmals randlich stark (destruktiv) mikritisierten Bioklasten können als Hinweis auf geringe Ablagerungstiefen gelten (flaches Subtidal). In den proximalen Tempestiten der Kössener Schichten hingegen fehlen sie bereits (tieferes Subtidal). Konstruktiv mikritisierte Bioklasten ähneln Rindenkörnern oder kleinen Onkoiden und werden oft von sessilen Foraminiferen oder Tubiphyten inkrustiert.

Als Besonderheit kann im rhätischen Dachsteinkalk auf den südlichen Steinbruch-Etagen (im Kern und Südostschenkel der Synklinale) ein Zug von **Ooidkalken** (Oosparite bzw. grainstones) von etwa 2,5 m Mächtigkeit beobachtet werden. Diese Oosparite führen vereinzelt Mollusken, Crinoiden und Foraminiferen und stehen in Wechsellagerung mit mehreren Tempestitlagen (Sturmflutlagen). Diese sind reich an umgelagerten Bivalven, Gastropoden und auch Dicerocardien sowie auch an umgelagerten dolomitischen Lithoklasten. Die Ooidkalke sind Teil des subtidalen C-Gliedes des Lofer-Zyklothems. Neben den Ooiden, die im Dünnschliff als Einfachooide, Normalooide und Mehrfachooide beschrieben werden können, kann man auch Aggregatkörner (grapestones), die sich oft aus mehreren Ooiden zusammensetzen, beobachten. Den Kern der Ooide können Biogene des lagunären Faziesraumes (Foraminiferen, Molluskenschalen, Crinoiden) bilden.

Das **B-Glied des Lofer-Zyklothems** ist östlich vom Steinbruch im Bereich eines Stollens deutlich ausgeprägt. Mikrofaziell handelt es sich um fein-

schichtige Cyanobakterienstromatolithe (bindstones), bei denen gelegentlich Biogene wie feine Crinoidenstreu, Foraminiferen und Filamente, aber auch größere Bivalven und Gastropoden, sowie Thaumatoporellen, in den biogenen Lagenbau eingeschlossen worden sind. Thaumatoporellen könnten somit dazu herangezogen werden, obertriassische Dachstein- oder Hauptdolomite von mitteltriassischen Wettersteindolomiten zu scheiden. Die Stromatolithe sind reich an Fenstergefügen ("birds-eyes" und Stromatactis), die nicht selten ein Internsediment aus vadosem Silt bzw. Pelsparitschlamm enthalten und daher durch die sparitisch ausgekleideten Resthohlräume "fossile Wasserwaagen" bilden. Solche Fenstergefüge sind ein häufiges Element auch im kalkigen C-Glied des Lofer-Zyklothems und werden dort oft in feinschichtigen, biogenarmen mudstones beobachtet. Nach PILLER (1976) können diese laminitischen Fenstergefüge auf ehemalige Cyanobakterienstromatolithe zurückgeführt werden, deren algenförmige Filamente durch Verwesung verloren gegangen sind und durch kalkiges Internsediment (Pelsparite) und Kalzitzement (= Fenstergefüge) ersetzt worden sind. In solchen laminitischen Lagen treten nur feine Crinoidenstreu, Ostracoden, etwas Bivalven und einige wenige Foraminiferen (Frondicularien, vereinzelt Involutinen) als Biogene auf.

Fleckige, rosafärbige Bereiche sind manchmal im lagunären rhätischen Dachsteinkalk eingeschaltet. Sie sind ein Hinweis auf Bioturbation und die rötliche Farbe kann man eventuell auf miteingeschwemmte Rotböden aus Auftauchbereichen zurückführen.

Der am Starnkogel auftretende gebankte Dachsteinkalk zeigt sensu FISCHER (1964) hauptsächlich die Entwicklung von A-C-A-Zyklen. Darin fällt immer wieder das Glied A auf, das aus relativ mächtigen, mehrere Zentimeter dicken, dunkelgrünen, manchmal auch rotbraunen Tonlagen besteht, die auch in ein erosiv-verkarstetes Relief eingelagert sein können (Diskontinuitätsfläche). Die darüber folgende, Meter-mächtige Kalkbank vertritt bereits das subtidale C-Glied in der oben beschriebenen faziellen Ausprägung. An einigen wenigen Stellen konnten im rhätischen Dachsteinkalk jedoch auch vollständige A-B-C-Zyklen beobachtet werden. Hier schalten sich wenige Zentimeter dicke, auch lateral auskeilende, meist weiß verwitternde, dolomitische Cyanobakterienlagen als intertidales B-Glied des Lofer-Zyklothems ein.

Der Übergang von den dunkelgrauen **Kössener Schichten** in den rhätischen Dachsteinkalk vollzieht sich innerhalb weniger Kalkbänke, die durch die Sequenz aus welligschichtigen dunklen Bankkalken mit türkisgrünen Tonzwischenlagen besteht. Diese leitet direkt in das seichte Subtidal des C-Gliedes des Lofer-Zyklothems über.

Nur östlich am Fuß des Gstättenberges ist das dolomitisierte B-Gied des Lofer-Zyklothems mit 0,5 m mächtiger entwickelt, was als Hinweis auf norischen Dachsteinkalk, im Liegenden der Kössener Schichten, angesehen werden kann.

#### Dank

Der Firma Baumit wird für die Erlaubnis, die Geologie ihres Steinbruches im Rahmen von Projekten untersuchen zu können und für Hilfestellungen gedankt. Dank für die Bearbeitung und Darstellung der geologischen Karte im Geographischen Informationssystem (GIS) geht an Bernhard Atzenhofer (GBA). Einen wesentlichen Part bei der Mikrofaziesanalyse und geologischen Gesamtausarbeitung steuerte Manfred Leuprecht bei, wofür ich ihm posthum herzlich danke. Für die Hilfe und förderliche Zusammenarbeit bei der Tagungs-Vorexkursion, für die Mikrofossilbestimmung und Textfassung bin ich Michael Moser (GBA) sehr dankbar. Gerhard W. Mandl (GBA) sei für die kritische Durchsicht des Manuskriptes gedankt.

#### Literatur

- DECKER, K., PERESSON, H. & FAUPL, P. (1994): Die miozäne Tektonik der östlichen Kalkalpen: Kinematik, Paläospannungen und Deformationsaufteilung während der "lateralen Extrusion" der Zentralalpen. – Jahrbuch der Geologischen Bundesanstalt, **137**/1, 5–18, Wien.
- DUNHAM, R.J. (1962): Classification of carbonate rocks according to depositional texture. AAPG Special Volumes, **1**, 108–121, Tulsa.
- FISCHER, A.G. (1964): The Lofer Cyclothems of the Alpine Triassic. – Kansas Geological Survey Bulletin, **169**, 107–149, Topeka, Kansas.
- GOLEBIOWSKI, R. (1991): Becken und Riffe der alpinen Obertrias: Lithostratigraphie und Biofazies der Kössener Formation. – In: KRYSTYN, L., GOLEBIOWSKI, R., VASICEK, W., NAGEL, D. (Hrsg.) & RABEDER, G. (Hrsg.): Exkursionen im Jungpaläozoikum und Mesozoikum Österreichs, 79–119, Österreichische Paläontologische Gesellschaft, Wien.
- LEUPRECHT, M. & MOSHAMMER, B. (2005): Bericht zur geologischen Begutachtung und Kartierung des Steinbruches Starnkogel, nordöstlich Bad Ischl, aufgebaut aus vorwiegend rhätischem Dachsteinkalk in der Höllengebirgsdecke. Der abgebaute Rohstoff wird zur Herstellung von Branntkalk verwendet. – Unveröffentlichter Bericht (07.02.2005), Projekt Karbonatforschung, 5 S., 6 Beil., Wien.

LEUPRECHT, M. & MOSHAMMER, B. (2007): Rohstoffinteressen und ihre geologischen Grundlagen im rhätischen Dachsteinkalk des Steinbruches Starnkogel, Bad Ischl, Oberösterreich, Zeitraum 2004–2006. – Geo.Alp, Sediment 2007, 60, Innsbruck

Poster dazu: MOSHAMMER, B. & LEUPRECHT, M.: Geologie im Steinbruch Starnkogel im Salzkammergut (Bad Ischl, Ober-österreich).

https://www.geologie.ac.at/fileadmin/user\_upload/dokumente/pdf/poster/poster\_2007\_sediment2007\_moshammer.pdf (abgerufen am: 30.05.2017).

- MANDL, G.W., BRYDA, G. & PAVLIK, W. (2009): Der Dachsteinkalk im Großraum Hochkar–Hochschwab und seine Stellung in der kalkalpinen Karbonatplattform-Entwicklung. – Arbeitstagung der Geologischen Bundesanstalt 2009, Leoben, 70–80, Wien.
- MOSHAMMER, B. (2003): Die Verwendung von Kalkstein der Obertrias und des Jura im Salzkammergut. – Beiträge zur Geologie des Salzkammerguts. Begleitband zur Tagung Erde-Mensch-Kultur-Umwelt, 28.–31. August 2003, Gmunden, Österreich, 297–309, Gmunden.
- MOSHAMMER, B. (2004): Rhätischer Dachsteinkalk und Kössener Schichten im Steinbruch Starnkogel, Bad Ischl, Oberösterreich. – Vortragskurzfassung der Posterpräsentation. – Berichte des Instituts für Erdwissenschaften der Karl-Franzens-Universität Graz, **9**, 284–285, Graz.
- MOSHAMMER, B. (2007): Die Verwendung von Kalkstein der Obertrias und des Jura im Salzkammergut. – Arbeitstagung der Geologischen Bundesanstalt 2007, Oberösterreich, 7.–11. Mai 2007, 183–199, Wien.
- MOSHAMMER, B. (2008): Steinbruchbezogene Dachsteinkalk-Faziesstudie mit Implikationen für den Österreichischen Rohstoffplan. – Journal of Alpine Geology, **49**, 72, Wien.
- ÖNORM ÖSTERREICHISCHES NORMUNGSINSTITUT (1985): Begriffe der Lagerstättenkunde der Steine, Erden und Industrieminerale ÖNORM G 1046, Teil 3 Kalkstein. – 4 S., Österreichisches Normungsinstitut, Wien.
- PILLER, W. (1976): Fazies und Lithostratigraphie des gebankten Dachsteinkalkes (Obertrias) am Nordrand des Toten Gebirges (S Grünau/Almtal, Oberösterreich). – Mitteilungen der Gesellschaft der Geologie- und Bergbaustudenten Österreichs, 23, 113–152, Wien.
- SCHÄFFER, G. (1982): Geologische Karte der Republik Österreich 1:50.000, Blatt 96 Bad Ischl. – Geologische Bundesanstalt, Wien.
- SCHLAGINTWEIT, F., GAWLICK, H.-J., MISSONI, S. & LEIN, R. (2005): The reefal facies of the Upper Jurassic Plassen carbonate platform at Mt. Jainzen (Northern Calcareous Alps, Austria). – Sediment 2005, 130–131, Gwatt, Switzerland.
- SIBLIK, M., SZENTE, L., MIKULAS, R. & LOBITZER, H. (2010): An Invertebrate Faunula in the Kössen Beds of Starnkogel (Bad Ischl, Upper Austria). In: LOBITZER, H. & JANDA, C. (Eds.): Fifty Years of Geological Cooperation between Austria, the Czech Republic and the Slovak Republic. Abhandlungen der Geologischen Bundesanstalt, 65, 57–64, Gmunden.

# Exkursion 1A (20.06.2017): Kulturgeologischer Spaziergang im Stadtgebiet von Bad Ischl

HARALD LOBITZER (1)



Abb.1. Exkursionsroute.

Die Exkursionsroute beginnt beim Museum an der Esplanade, führt durch die Innenstadt von Bad Ischl und endet im Kaiserpark mit der Kaiservilla und dem Marmorschlössl (Abb. 1). Folgende Punkte sind geplant und werden hier kurz beschrieben. Eine genauere Beschreibung erfolgt im Anschluss.

# Haltepunkt 1:

#### Museum der Stadt Bad Ischl (Esplanade 10)

Treppe aus strapazierfähigem Pötschen-Marmor mit Hornsteinknollen.

#### Haltepunkt 2:

#### Sophien-Denkmal, Elisabethbrücke, Traunufer

Inschriftplatte des Sophien-Denkmals auf der EsplanadeausSchwarzensee-Marmor. Wasserbau-

# Haltepunkt 3:

#### Hotel "Goldenes Schiff" (Adalbert-Stifter-Kai 5)

Gehsteig- bzw. Kanalabdeckungsplatten traunseitig beim Hotel "Goldenes Schiff" am Adalbert-Stifter-Kai Nr. 5 aus Pötschen-Marmor.

#### Haltepunkt 4:

#### Krieger-Denkmal am Rudolfspark (Kaiser-Franz-Josef-Straße 2)

Der Sockel des Krieger-Denkmals besteht aus Ischler Marmor vom Typ "Ischler Rötlich", der von Kalzitadern durchsetzt ist, die Zerrungsklüfte auskleiden. Die Figuren selbst bestehen aus Untersberger Marmor.

bzw. Quadersteine vom Hubkogel aus Ischler Marmor bilden teilweise die Uferverbauung der Traun sowie den Brückenpfeiler der Elisabethbrücke.

# Haltepunkt 5:

#### Stadtpfarrkirche St. Nikolaus (Kirchengasse 2)

Im Sockel der Stadtpfarrkirche findet u.a. Breitenberger Marmor (knolliger Adneter Kalk) mit Querschnitten von Ammoniten Verwendung. Als dekorativer Baustein findet auch der rosarote Wildensteiner Marmor, der in Kaltenbach am Fuße der Katrin unterhalb der Ruine Wildenstein abgebaut wurde, Verwendung. Im Eingangsbereich der Kirche befinden sich zwei steingedrechselte Weihbrunnkessel aus Fludergraben-Marmor.

# Haltepunkt 6:

#### Friedenskirche (Bahnhofstraße 5)

Ein ehemaliger K. u. K. Kornspeicher, der Ende des 19. Jahrhunderts in die derzeitige Evangelische Kirche von Bad Ischl umgebaut wurde, thront auf konglomerierten Schottern des Spätglazials.

### Haltepunkt 7:

#### Kaiservilla im Kaiserpark (Jainzen 38)

Die Sockel der Laternen vor der Kaiservilla bestehen aus Dachsteinkalk sowie Fludergraben-Marmor. Aus letzterem ist auch der Beckenrand des neobarocken Springbrunnens vor der Villa.

#### Haltepunkt 8:

#### Marmorschlössl im Kaiserpark (Jainzen 1)

Dominierendes Baumaterial ist der blassrosarote Traunsee-Marmor. Fassade, Treppen und teilweise Bodenplatten bestehen aus Pötschen-Marmor. Die Bodenplatten wurden später großteils durch Treuchtlinger Marmor ersetzt.

#### Einleitung

Historisch bedingt finden sich im Stadtzentrum von Bad Ischl – Stichworte Salzbergbau und damit kausal verbunden Solebäder-Kurort und Sommerresidenz von Kaiser Franz Joseph – zahlreiche Bauwerke, für die in überwiegend bereits historischen Abbauen in der näheren Umgebung diverse Kalksteine ("Marmore") als Bau- und Dekorsteine gebrochen wurden. Dies gilt auch für zahlreiche Grabmale am sehenswerten Ischler Friedhof, den wir aus Zeitgründen ebenso wenig besuchen können wie das Interieur der Kaiservilla und die über das Stadtgebiet und die nähere Umgebung verteilten mehr als 200 Kleindenkmäler. Diesbezüglich darf auf vom Ischler Heimatverein herausgegebene Bücher, insbesondere das Bad Ischler Heimatbuch (LOBITZER, 2004), den Friedhofsführer von ECKEL et al. (2016) und den Ischler Denkmalführer von FEDERSPIEL & GRÖSSWANG (2014) sowie auf WILKIE (2014) und LOBITZER et al. (2015) verwiesen werden. Die Route durch das Stadtgebiet ist in Abbildung 1 ersichtlich. Die Textbeiträge beruhen zum Großteil auf den Beschreibungen in LOBITZER et al. (2015).

# Bau- und Dekorsteine ("Marmore") aus dem Salzkammergut

Die bekanntesten "Marmore" sind der Fludergraben-Marmor aus dem Ausseerland, der Schwarzensee-Marmor aus dem Wolfgangsee-Gebiet sowie der Ischler und der Traunsee-Marmor. Aber auch Untersberger und Adneter Marmore aus dem Salzburgischen sind im Stadtbild häufig zu finden. Eine schamhaft verschwiegene Forschungslücke bildet bislang der rosarote Wildensteiner Marmor, der wohl nur in geringen Kubaturen in Kaltenbach am Fuße der Katrin unterhalb der Ruine Wildenstein abgebaut wurde, jedoch als dekorativer Baustein u.a. bei der Ischler Pfarrkirche St. Nikolaus Verwendung fand.

#### Nicht jeder "Marmor" ist ein Marmor

Eigentlich handelt es sich bei allen hier besprochenen "Marmoren" nicht um Marmore im geologischen Sinn, sondern um dekorative Kalksteine. Der Geologe versteht nämlich unter Marmor einen infolge mächtiger Gesteinsüberlagerung bei hohen Druck- und Temperatur-Bedingungen im Erdinneren umgewandelten ("metamorphen") Kalkstein. Dies ist bei allen in diesem Text angeführten Kalksteinen nicht der Fall. Manche Steinmetze bezeichnen allerdings alle schleif- und polierfähigen Karbonatgesteine, die für dekorative Zwecke in Kunst und Architektur verwendbar sind ("Dekorsteine"), als "Marmor".

#### • Der Ischler Marmor

Der vielseitig als Dekor-, Werk- und Naturstein verwendete "Rettenbachkalk" (FENNINGER & HOLZER, 1971) wurde seit dem 19. Jahrhundert am Hubkogel südöstlich von Bad Ischl gebrochen und unter dem Markennamen "Ischler Marmor" vertrieben. Der früher "Marmor vom Hubkogel" genannte Kalkstein wurde bereits bei der Wiener Weltausstellung im Jahr 1873 vorgestellt; seine Verwendung reicht aber viel weiter zurück.

Im liegenden Profilabschnitt ist der mehrere Meter dick gebankte bis massige, lebendig gemusterte, feinkörnige und bis nahezu 20 m mächtige Kalkstein des Hubkogels als sedimentäre Brekzie entwickelt und zeigt eine intensive Kalzitäderung. In den dunkleren Partien sind gelegentlich Fossilien, wie Crinoiden, kleinwüchsige Ammoniten und Schalenbruch, erkennbar. Der Kalkstein wurde in der späten Jura-Zeit bis zur Jura-Kreide-Grenze, also vor etwa 160 bis 145 Millionen Jahren, am Abhang von der Plassenkalk-Karbonatplattform in tiefere Meeresbereiche abgelagert. Für diese Deutung als "slope deposit" sprechen sowohl submarine Rutschungen und sedimentäre Knollenlagen, als auch zahlreiche mit Kalzit verheilte Klüfte. Ob auch seismische Aktivitäten für das Aufreißen der kalzitverheilten Klüfte eine Rolle spielten, sei dahingestellt.

#### Anforderungen an einen Dekorstein

Bei der Verwendung eines Kalksteins als qualitativ hochwertigen Dekorstein müssen neben seiner ästhetischen Attraktivität eine Reihe von geologischen, petrografischen und physikalischen (Dichte, Härte, Festigkeit) Anforderungen zutreffen. Wasser kann auf den Kalkstein sowohl physikalisch (sprengend), als auch chemisch-lösend einwirken. Die "Kalklösung" veranlasst viele Steinmetzen, der Kundschaft von einem Kalkstein oder Marmor abzuraten und ein silikatisches Gestein, wie Granit oder Gneis, die natürlich nichts mit der Geologie des Salzkammergutes zu tun haben, zu empfehlen. Ein weiteres Qualitätskriterium ist die Klüftigkeit eines Gesteins, die naturgemäß nicht zu engstehend sein darf, um größere Blöcke ohne Zerbrechen abbauen und verarbeiten zu können.

### Die Steinbrüche am Hubkogel

Wohl aufgrund einer Stiftung von Alexius Lauffner im Jahr 1456 gehörte der Hubkogel mit der "Großen" und der "Kleinen Hub" der Kirche von Lauffen. 1593 wurde er der Saline überlassen, wobei Rudolf II. verfügte, dass die Lauffner Kirche als Gegenleistung fortan jährlich zwei Pfund Fuder Salz erhalten soll. Wahrscheinlich existierten am Hubkogel bereits im späteren 16. Jahrhundert Steinbrüche. Früher unterschied man im Salzkammergut insbesondere bei den Salinen zwischen "weißen" und "roten Steinbrüchen". Das rührt daher, dass "weißer" Kalkstein für die steinernen Pfannsteher (Stützen der Salzpfanne im Bereich der Feuerung) abgebaut wurde, während Pfannsteher aus rotem Kalkstein angeblich dem Feuer etwas länger standhielten. Sie wurden in "roten Steinbrüchen", wie z.B. am Traunsee-Ostufer bei Ebensee, abgebaut.

Die beiden inzwischen rekultivierten Hütter-Brüche gehörten zur "Kleinen Hub". Sie wurden ab 1952 von Alois Müllegger sen. betrieben und 1986 vom gleichnamigen Junior übernommen. Große Blöcke wurden für Quader-, Mauer- und Werkbausteine gewonnen und um 1990/1992 Wasserbausteine für die Traun-Verbauung zwischen Lauffen und Ebensee und für die Brückenpfeiler in Bad Ischl gebrochen. Auch beim Eisenbahnbau und für Stützmauern der Salzkammergutstraße B 145 zwischen Bad Ischl und Gmunden fand dieser Kalkstein Verwendung. Infolge des zunehmend verringerten Abstandes zu Wohnhäusern und des abbaubedingten LKW-Verkehrs durch



Abb. 2. Blick vom linken Traunufer zur Lehárvilla (links) und zum Gipfel der Katrin (einem schroffen ehemaligen Nunatak) mit dem Sendemast. Wasserbau- bzw. Quadersteine vom Hubkogel wurden für den Uferverbau der Traun sowie den Brückenpfeiler der Elisabethbrücke verwendet. Foto: © http://badischl. salzkammergut.at

Reiterndorf musste der Abbau im Jahr 1999 stillgelegt werden.

Der bis zu 40 m hohe Voglhuber-Bruch wurde 1890 für die Gewinnung von Wurf- und Wasserbausteinen für den Eisenbahn-, Straßen- und Flussverbau angelegt. So sind z.B. die Brückenpfeiler, Widerlager und die Ufermauer der 1899 erbauten Traun-Hauptbrücke ("Elisabethbrücke") aus Quadersteinen von der "Großen Hub" gefügt (Abb. 2). Etwa 40 Jahre lang betrieb die Flussbauleitung den Abbau; 1978 wurde er stillgelegt.

#### Der Dekorstein "Ischler Marmor"

Gleichzeitig fand der "Marmor vom Hubkogel" auch als Dekorstein – als "Ischler Marmor" – im Innen- und Außenbereich Verwendung. Gefertigt wurden u.a. Fußböden, Fassaden und Fenstergewände, wie z.B. die Außenfassade der Bergstation der Schafbergbahn. Vielerorts tragen polierte Platten von Ischler Marmor, die unter den Handelsbezeichnungen "Ischler Rehbraun" (blass ockerbraun bis blass bräunlich), "Ischler Hell" (beigegrau), "Ischler Rötlich" (ziegelrötlich) oder "Ischler Gemischtfarbig" als Werk- und Dekorstein vertrieben wurden, wohltuend zum Ischler Stadtbild bei (Abb. 3). Ischler Marmor ziert so manche Geschäftsfassade, z.B. von Textil-Quell am Kreuzplatz, Esplanaden-Apotheke, Goldener Ochs und die ehemalige Konditorei Urban. Zahlreiche weitere Fenstergewände, Gesimse, Türstöcke sowie Grabsteine am Ischler Friedhof sind stumme Zeugen dieser 1999 erloschenen Bergbautradition.

#### Abb. 3.

Der Sockel des "Krieger-Denkmals" am Rudolfspark besteht aus Ischler Marmor vom Typ "Ischler Rötlich". Er wird von Kalzitadern durchsetzt, die Zerrungsklüfte auskleiden. Die Figuren bestehen aus Untersberger Marmor.



### • Der Fludergraben-Marmor

Hierlatzkalk (Abb. 4) der frühen Jura-Zeit wurde unter der Bezeichnung "Fludergraben-Marmor" seit dem Mittelalter bis zum Zweiten Weltkrieg im Fludergraben am Brunnkogel unweit der Blaa-Alm im Gemeindegebiet von Altaussee abgebaut. Dieser beliebteste Dekorstein des Salzkammergutes ist ein meist mehrere Dezimeter dick gebankter, fein- bis grobkörniger, blassrötlicher bis tief wein- oder purpurroter Kalkstein. Bis zu kleinfingerdicke weiße Einsprengsel von Crinoiden-Stielquerschnitten kommen partienweise in gesteinsbildender Häufigkeit vor und geben dem Gestein seinen unverwechselbaren Charakter.





#### • Der Schwarzensee-Marmor

Der dekorative Schwarzensee-Marmor wird seit der Barockzeit ca. 500 m nördlich des Schwarzensees gebrochen. Der Stein zeigt eine lebhafte Farbzeichnung: ziegelrot, rotbraun oder gelblichweiß sowie auch grau, grünlich-grau und blass-oliv. Reiche Kalzitdurchäderung und Komponenten von braunem oder schwarzem Eisen/Manganerz sowie Kalksteinbrekzien sind charakteristisch (MOSHAMMER & LEUPRECHT, 2005). Gelegentlich vorkommende Crinoiden und Brachiopoden sprechen für ein frühes Jura-Alter.

Der Steinbruch gehörte zur "Grundherrschaft Stift Mondsee", nach der Säkularisierung zur "Herrschaft St. Wolfgang". Von ca. 1830 bis 1840 hatte Dr. Franz Wirer den Schwarzensee-Marmorbruch gepachtet. Aus dieser Zeit stammt die Inschriftplatte des Sophien-Denkmals auf der Ischler Esplanade. Der gefragte Dekorstein wurde auch bei der Wiener Weltausstellung im Jahr 1873 vorgestellt. Derzeit wird Schwarzensee-Marmor vom Steinmetzbetrieb Norbert Kienesberger in Grieskirchen abgebaut.

#### • Der Breitenberger Marmor

Der Breitenberger Marmor gehört zur Gesteinsvielfalt der überwiegend roten Adneter Kalke (Abb. 5) der frühen Jura-Zeit. Der mikritische Knollenkalk wurde und wird auch heute wieder in geringem Umfang in einem kleinen Steinbruch in der Osterhorngruppe südsüdöstlich des Breitenbergs (1.260 m) abgebaut. Der Kalkstein ist im dm-Bereich gebankt, wobei die flach liegenden Bänke – wie in der gesamten Osterhorngruppe – nur geringfügig tektonisch gestört sind.

Das Liegende des Steinbruch-Profils bilden zwei dicke Bänke von mikritischem Crinoidenkalk, gefolgt von bis zu 20 cm dick gebankten ± knolligen Kalken mit mergeligen Zwischenlagen. Darüber folgen ± brekziierte, knollige plattige Kalke ohne Makrofauna, die hangend in kieselige Mergel mit einer kondensierten Ammoniten-Assoziation des Carixiums bis Domeriums übergehen. Im Hangenden eine halbmeterdicke Lage einer knolligen Brekzie sowie Radiolarit.

Abb. 5.

Im Sockel der Ischler Pfarrkirche findet u.a. knolliger Adneter Kalk (Breitenberger Marmor) mit Querschnitten von Ammoniten Verwendung.

Der Breitenberger Marmor wird bereits von SCHAUBACH (1846) im Band 3 seiner fünfbändigen Monografie über die deutschen Alpen als "reiche Marmorvorkommen von Zinkenbach" erwähnt. Die Schichtfolge wird erstmals detailliert von SUESS & MOJSISOVICS (1868) und die frühjurassische Ammonitenfauna zuletzt von BLIND (1963) beschrieben. Eine detaillierte Beschreibung verdanken wir KIESLINGER (1964), der auch die Angabe im Katalog zur Weltausstellung 1873 in Wien richtigstellt, nach welcher der Marmor aus dem Forstbezirk Zinkenbach zu wertvollen Steinmetzarbeiten besonders geeignet sei und Marmorarbeiten von diesem in der Kirche von St. Wolfgang allgemeine Bewunderung erweckten. Dies ist unrichtig und offenkundig eine Verwechslung mit dem Schwarzensee-Marmor.

#### • Der Traunsee-Marmor

Ein in der geologischen Literatur bislang zu Unrecht kaum beachteter Werkstein und prachtvoller Dekorstein, der in zahlreichen profanen und sakralen Prunkbauten im Bereich des Traunsees, aber auch in Bad Ischl Verwendung fand, ist der Traunsee-Marmor (Abb. 6). Der dekorative Stein, der früher auch Ebenseer oder Zinselbach-Marmor genannt wurde, wurde im längst aufgelassenen "Roten Steinbruch" am Südostufer des Traunsees nördlich des Ebenseer Ortsteils Rindbach gebrochen.



Abb. 6. Das dominierende Baumaterial der Fassade des Marmorschlössls ist der Traunsee-Marmor, eine pastös rosarote und wohl durch "den Zahn der Zeit" etwas verblasste Kalksteinbrekzie der frühen Jura-Zeit.



#### • Der Pötschen-Marmor

Kieseliger und Hornstein führender Pötschenkalk fand im historischen Ischler Stadtbild verbreitet als Bau- und Dekorstein Verwendung (Abb. 7, 8). Er wurde unweit der Pötschenpasshöhe auf oberösterreichischer Seite sowie im Gelände des jetzigen Ausseer Alpengartens abgebaut.

Die horstartigen Erhebungen im "Hallstätter Kalk-Pötschenkalk-Becken", auf denen der Hallstätter Kalk abgelagert wurde, wurden von kie-

#### Abb. 7.

Einen besonderen Charme üben im Ischler Stadtzentrum versteckt gelegene, steinerne Relikte aus der Kaiserzeit, wie Portale, Stiegen etc. aus. Zu diesen unauffälligen Zeugen einer längst vergangenen Epoche zählt eine mehr als 10 m lange Flucht aus Gehsteig- bzw. Kanalabdeckungsplatten aus Pötschenkalk, die traunseitig beim Hotel "Goldenes Schiff" am Adalbert-Stifter-Kai Nr. 5 erhalten ist.



selsäurereichem Kalkschlamm des Pötschenkalks umgeben. Dieser feinkörnige, graue oder bräunliche dm-gebankte und häufig Hornsteinknollen und Hornsteinlagen führende Kalk mit wellig-knolligen Schichtflächen wurde in der norischen Stufe der späten Trias-Zeit in ruhigen Meeresbereichen in einer Wassertiefe von vermutlich mehreren 100 m gebildet.

# Altbekannte "Marmore" aus dem Salzburgischen

Die verschiedenen Varietäten der südlich von Salzburg abgebauten Adneter und Untersberger Marmore waren seit dem frühen Mittelalter die privilegierten Dekorsteine im österreichischbayerischen Kulturraum.

#### • Die Adneter Marmore

Das Steinbruchgebiet von Adnet liegt unweit von Hallein am Westrand der Osterhorngruppe auf der Kuppe des Adneter Kirchholzes. Dort werden sowohl der "Adneter Tropf", ein Korallenriffkalk der späten Trias-Zeit, als auch eine Vielfalt von überwiegend roten Adneter Kalktypen der frühen Jura-Zeit abgebaut.

#### • Untersberger Marmor

Untersberger Marmor wird seit der Römerzeit bei Fürstenbrunn am Nordfuß des Untersberges gebrochen. Aus diesem bekanntesten österreichischen Dekorstein wurden auch in Bad Ischl zahlreiche Denkmäler gefertigt, wie z.B. der Springbrunnen im Kurpark sowie zahlreiche Gedenktafeln und Grabmale am Ischler Friedhof. "Der Untersberger" ist eine Kalksteinbrekzie der Gosau-Gruppe der späten Kreide-Zeit. Er wurde vor etwa 86 Millionen Jahren in einem küstennahen Meeresbereich abgelagert. Seine Gesteinsvielfalt umfasst sowohl grobe Brekzien, als auch feinkörnige Typen, wobei pastellfarbige Töne von weiß über beige bis zu hell rötlich dominieren. Der bekannteste Typ wird wegen seiner millimeterwinzigen weinroten Bauxit-Einsprenglinge als "Forellenmarmor" bezeichnet.

#### Abb. 8.

Das Museum der Stadt Bad Ischl betritt man – wie auch viele andere repräsentative Gebäude in Bad Ischl – über eine Treppe aus strapazierfähigem Pötschen-Marmor mit Hornsteinknollen, der auch in der Außengestaltung der Kaiservilla und des Marmorschlössls eine Rolle spielt.

### Die Sommerresidenz von Kaiser Franz Joseph und Elisabeth

Im Jahr 1853 fand im Seeauerhaus, dem heutigen Stadtmuseum an der Esplanade, die Verlobung des 23-jährigen Kaisers Franz Joseph mit der 15-jährigen Wittelsbacher Herzogin Elisabeth (Sisi) statt. Unmittelbar danach fasste Erzherzogin Sophie den Entschluss, die Ischler Biedermeiervilla Eltz zu erwerben und zur künftigen Sommerresidenz ihres Sohnes Franz Joseph – zur Kaiservilla – auszubauen. Anlässlich der Vermählung am 23. April 1854 in Wien bereitete Sophie dem jungen Paar mit der noch nicht vollständig adaptierten Villa das schönste und liebste Hochzeitsgeschenk, welche das Kaiserpaar Ende Juli 1854 bezog.

#### • Der Kaiserpark

Bereits in den Säulen des Eingangstors zum Kaiserpark findet Dachsteinkalk mit herzförmigen Megalodonten-Querschnitten Verwendung. Die Sockel der Laternen vor der Kaiservilla bestehen aus Fludergraben-Marmor sowie Dachsteinkalk. Ebenfalls aus Fludergraben-Marmor besteht das Becken des neobarocken Springbrunnens vor der Kaiservilla (Abb. 9). Am obersten Parkweg des Kaiserparks ist das Wiesen- und Waldgelände von nahezu weißen, hier auch rosaroten Plassenkalk-Felsen der späten Jura-Zeit durchsetzt, die den gesamten Jainzenberg aufbauen. In diesem finden sich neben einer reichen Rifffauna von Korallen und Schwämmen auch Echinodermen und Kalkalgen sowie Mikrofossilien.

#### • Das Projekt "Kaiservilla"

Das Gesamtprojekt der kaiserlichen Sommerresidenz (Abb. 10) wurde Anfang 1855 in Angriff genommen. Es umfasste den Umbau der Villa Eltz, die mit ihren 14 Zimmern viel zu klein für die kaiserliche Hofhaltung und den Empfang von Staatsbesuchen war sowie die Adaptierung der

Abb. 9.

Der neobarocke Springbrunnen vor der Kaiservilla mit seinen aus echtem(!) weißen Marmor gefertigten Figurengruppen spielender Kinder wurde 1884 vom Bildhauer und Professor an der Wiener Akademie der bildenden Künste, Viktor Tilgner (\*25. Oktober 1844 in Preßburg; †16. April 1896 in Wien), gestaltet. Das Becken wird von Fludergraben-Marmor umrahmt. Tilgner schuf u.a. das Mozart-Denkmal im Wiener Burggarten.





Abb. 10. Blick vom Kaiserpark über die Kaiservilla in das landschaftlich unruhig wirkende Mittelgebirge mit der Hoisenradalm (Wiesenblöße links oben), rechts anschließend die Kolowratshöhe und die "Hallstätter Zone" des Ischler Salzberggebietes.

schon vorhandenen ziemlich großen Stallungen. Zudem wurden die Bautätigkeiten für das Cottage und die Gestaltung des Kaiserparks am Fuße des Jainzen sowie die Errichtung von Verwaltungsgebäuden, Küchen, einer Wagenremise, Gesindehäuser, Werkstätten, Glashäuser und Pavillons im Park und einer Wasserleitung begonnen.

Mit dem Umbau der Villa Eltz zur "Kaiservilla" wurde Antonio Legrenzi (1804–1858) betraut. Er fügte zum Park hin zwei Seitenflügel an und erweiterte den Mittelbau. Die Fassade wurde umgedreht, womit die früher stadtseitig auf Ischl ausgerichtete Hauptfassade der Kaiservilla zur Gebäuderückseite wurde und die nun parkseitig ausgerichtete Villa wurde im Eingangstrakt mit dem klassizistischen Säulenvorbau ergänzt.

Im Inneren der Kaiservilla und im Bereich der Balkone fanden verschiedene "Marmore" aus dem Salzkammergut reichlich dekorative Verwendung. Gesimse und Ziergegenstände wurden aus Fludergraben- und Pötschen-Marmor gefertigt; bei den Pilastern am parkseitigen Balkon der Kaiservilla kommt dem Fludergraben-Marmor eine tragende Rolle zu. Möglicherweise spielte bei der Wahl dieses Steines auch die traditionelle "imperiale" Porphyr-ähnliche purpurrote Farbe eine Rolle, die ja im Römischen und Oströmischen Reich dem Kaiser vorbehalten war. Im Inneren der Villa finden sich auch Steindrechselarbeiten aus Schwarzensee-Marmor und grauem, ammonitenreichen Hallstätter Marmor.

### Sisis Refugium – das "Cottage" bzw. "Marmorschlössl"

Als Legrenzi während der Arbeiten an der Villa im Jahr 1858 unerwartet starb, übertrug der Kaiser dem k. k. Hofgärtner Franz Rauch (1809–1888) ihre Vollendung. Dieser war schon für die Errichtung des speziell der jungen Kaiserin zugedachten "Cottage" zuständig, das vom Stil her der Tudor-Gotik Englands gleichen sollte. Seit der Zwischenkriegszeit ist für das Gebäude bevorzugt die Bezeichnung "Marmorschlössl" in Gebrauch. Rauch oblag auch die Gestaltung des Parks und der Gärten, die er mit den Schlossgärtnern von Schönbrunn und Laxenburg angelegt hatte. Rauch schaffte es, dass sämtliche Betriebsgebäude Ende 1859 in vollem Einsatz waren; die Fertigstellung des Cottage dauerte ein Jahr länger.

Das luxuriös gestaltete "Cottage" wurde am Platz des ehemaligen Bauerngehöfts "Große Schmalnau", das für den Neubau weichen musste, erbaut. Im Sockel des nicht unterkellerten Cottage sind noch Steine aus dem Bauschutt des Schmalnauer Gehöfts eingemauert. Mit der Vollendung des Cottage im Jahr 1860 war die Anlage der kaiserlichen Sommerresidenz im Großen und Ganzen abgeschlossen. Die Kaiserin kam jedoch einige Jahre lang nicht nach Ischl. Erst ab 1865 nutzte sie das Cottage tagsüber als Teehaus, wohin sie sich zurückzog, um Gedichte zu schreiben, ihre Reisen zu planen und Freunde zu empfangen; Schlafzimmer waren darin keine vorgesehen.



#### Abb. 11.

Durch die Kombination verschiedener Marmortypen wurden bei der Fassadengestaltung des Marmorschlössls reizvolle pastöse Farbenspiele erzielt. Die Wand besteht aus lebhaft gezeichnetem Traunsee-Marmor, während für die Gesimse und die schlank dimensionierten großfenstrigen Erker hellgrauer Hornstein führender Pötschen-Marmor verwendet wurde. Der Fußboden besteht aus fossilienführendem poliertem Treuchtlinger Marmor.

Das dominierende und namengebende Baumaterial des Marmorschlössls sind diverse "Marmore", vor allem blassrosaroter "Traunsee-Marmor", eine meist exzessiv von Kalzitadern durchzogene Kalksteinbrekzie der frühen Jura-Zeit. "Pötschen-Marmor" findet im Marmorschlössl reichlich bei der Fassadengestaltung Verwendung (Abb. 11) und auch die Treppen und ein kleiner Teil der Bodenplatten wurden aus einem derben strapazierfähigen Pötschen-Marmor-Typ gefertigt. Untersberger Marmor fand hingegen – wie einer Info-Tafel am Gebäude fälschlich zu entnehmen ist – im Marmorschlössl keine Verwendung.

Ursprünglich bestanden alle Bodenplatten im Äußeren des Cottage aus Pötschen-Marmor. Sie wurden später großteils durch "Treuchtlinger Marmor" (derzeit gängiger Handelsname "Jura-Marmor") ersetzt, einem Kalkstein der späten Jura-Zeit aus der Region Treuchtlingen im bayerischen Altmühltal – vielleicht eine posthume Hommage an die aus Bayern stammende Kaiserin? In diesem rund 153 Millionen Jahre alten, fossilreichen, cremebeigen bis mittelgrauen mikritischen Kalkstein finden sich Ammoniten, Belemniten, Schwämme, Foraminiferen, Seeigel und Muscheln – eine prachtvolle Fossiliengemeinschaft.

#### Spätglaziale Konglomerat-Terrassen

Im Spätglazial erfolgten noch kurzzeitige, aber für die Landschaftsgestaltung prägende Vorstöße des Traungletschers, die von Abschmelzphasen unterbrochen waren. Sie hinterließen im Stadtzentrum Konglomerat-Terrassen, die nun von der Erosion zerschnitten sind. Der früheste spätglaziale Vorstoß war der kräftigste (VAN HUSEN, 1977). Er erreichte noch das Ischler Becken und hinterließ im Stadtgebiet bis zu mehr als 20 m mächtige Ablagerungen. Diese konglomerierten Schotterterrassen mit teilweise gut entwickelter Talrandverkittung prägen das Stadtbild. Sie werden nach derzeitigem Wissensstand nirgendwo von Moränenablagerungen überlagert. Auch die evangelische Kirche (Abb. 12) und die Villa "Trauneck" wurden auf konglomerierten Schottern erbaut. In diese mächtigen Terrassenschotter, die den Traunreiterweg säumen und sich in der Terrasse bei der Prater-Siedlung am Fuße des Siriuskogels fortsetzen, ist auch die Eisenbahntrasse eingeschnitten. Die Terrasse setzt sich rechtsufrig der Traun im "Gries" fort und bildet auch die markante Böschung oberhalb der Maxquellgasse bis zum Kneippbrunnen. Die späteren spätglazialen Vorstöße des Traungletschers waren bereits zu schwach, um die Enge von Lauffen zu überwinden. Seit etwa 18.000 Jahren ist das Ischler Becken und ab 16.000 Jahren das Goiserer Becken eisfrei. Vor ca. 14.700 Jahren setzte die Wiederbewaldung ein.

#### Dank

Frau Maria Sams und den Herren Hannes Eberl, Franz Federspiel und Markus Habsburg-Lothringen wird für diverse Hinweise herzlichst gedankt!

Abb. 12. (rechts) Konsolidierte konglomerierte Schotter der spätglazialen Terrasse der evangelischen Kirche.

#### Literatur

- BLIND, W. (1963): Die Ammoniten des Lias alpha aus Schwaben, vom Fonsjoch und Breitenberg (Alpen) und ihre Entwicklung. – Palaeontographica, Abteilung A – Paläozoologie, Stratigraphie, **121**, 38–131, Stuttgart.
- ECKEL, K., BREIDT, L., BRUCKER, G., FEDERSPIEL, F., LOBITZER, H., SAVEL, A. & WIESAUER, A. (2016): Bad Ischler Friedhofsführer. – 96 S., Ischler Heimatverein, Bad Ischl (Wigo-Druck GesmbH).
- FEDERSPIEL, F. & GRÖSSWANG, G. (2014): Ischler Denkmalführer. Mit Karte, Routenvorschlägen und QR-Codes. – 191 S., Ischler Heimatverein, Bad Ischl (Wigo-Druck GesmbH).
- FENNINGER, A. & HOLZER, H.-L. (1971): Die Entwicklung der Rettenbachkalke im Raume des Hubkogels bei Bad Ischl (Oxfordium-Berriasium, Nördliche Kalkalpen, Oberösterreich). – Carinthia II, Sonderheft **28**, 31–49, Klagenfurt.
- HUSEN VAN, D. (1977): Zur Fazies und Stratigraphie der jungpleistozänen Ablagerungen im Trauntal. – Jahrbuch der Geologischen Bundesanstalt, **120**, 1–130, Wien.
- KIESLINGER, A. (1964): Die nutzbaren Gesteine Salzburgs. Mitteilungen der Gesellschaft für Salzburger Landeskunde, Ergänzungsband 4, XII + 436 S., Salzburg–Stuttgart (Verlag Das Bergland Buch).
- LOBITZER, H. (2004): Geologischer Aufbau und das Werden der Landschaft von Bad Ischl. – In: DEGENEVE, W. & NEUMANN, D. (Schriftleitung): Bad Ischl Heimatbuch 2004, 15–31, Ischler Heimatverein, Bad Ischl (Rudolf Wimmer).

- LOBITZER, H., BREIDT, L., DRAXLER, I., FEDERSPIEL, F., HRADECKÁ, L., KVAČEK, J., MAYR, M., SCHIENDORFER, L. SEN., SCHLAGINTWEIT, F., SCHOLLNBERGER, W.E., SCHUBERT, G., SIBLÍK, M., SVOBODOVÁ, M., SZENTE, I., ŠVÁBENICKÁ, L. & TENREITER, C. (2015): Geologische Spaziergänge: Bad Ischl. Im Herzen des Salzkammerguts. Oberösterreich. – 144 S., Geologische Bundesanstalt, Wien.
- MOSHAMMER, B. & LEUPRECHT, M. (2005): Zur Stratigraphie, Fazies und Geochemie des Schwarzenseemarmors (Lias, Schafberg-Tirolikum, Oberösterreich). – Jahrbuch der Geologischen Bundesanstalt, **145**, 79–106, Wien.
- SCHAUBACH, A. (1846): Die Deutschen Alpen. Ein Handbuch für Reisende durch Tyrol, Oesterreich, Steyermark, Illyrien, Oberbayern und die anstoßenden Gebiete. III. Theil. Das Salzburgische, das östliche Oberbayern, das nördliche Obersteyermark, das Österreichische Gebirgsland und das Salzkammergut. – 353 S., Jena (F. Frommann).
- SUESS, E. & MOJSISOVICS, E. V. (1868): Studien über die Gliederung der Trias- und Jurabildungen in den östlichen Alpen.
  Nr. II. Die Gebirgsgruppe des Osterhornes. Jahrbuch der k. k. Geologischen Reichsanstalt, 18, 167–200, Wien.
- WILKIE, J. (2014): Die Kaiservilla in Bad Ischl. 76 S., Bad Ischl.



# Exkursion 1B (20.06.2017): Nutzung und Schutz von Trinkwasservorkommen im Inneren Salzkammergut

HARALD WIMMER (1)



Abb. 1. Exkursionsroute.

Diese Nachmittagsexkursion führt zu unterschiedlichen Trinkwasser-Bezugsstellen im Inneren Salzkammergut (Abb. 1). Beleuchtet werden neben der Art des Vorkommens die Gewinnung sowie die fachlichen Begründungen des jeweiligen Flächenschutzes. Haltepunkt 1:



## Quellen Wildenstein und Hauseck der Trinkwasserversorgung für Bad Ischl

Diese Quellen entwässern die verkarsteten Kalke und Dolomite des Katergebirges. Wenn möglich, werden wir über den Quell-Stollen in den Berg zu einer der Austrittsstellen gehen. Erläuterung des mehrzonigen Schutzkonzeptes sowie eines Färbeversuches nach einer einmaligen Verkeimung.

# Haltepunkt 2:



# Langfeldquelle der Trinkwasserversorgung von Bad Goisern

Beispiel für eine von Alluvionen überdeckten Karstquelle aus Wetterstein-Dolomiten und Dachsteinkalken. Erläuterung des erforderlichen Flächenschutzes bei seicht liegenden Aquiferen.

(1) Amt der Oberösterreichischen Landesregierung, Grund- und Trinkwasserwirtschaft, Kärntnerstraße 12, 4021 Linz. harald.wimmer@ooe.gv.at

# Haltepunkt 3:



Brunnen Echerntal der Trinkwasserversorgung von Hallstatt (je nach Witterung alternierend mit Haltepunkt 4)

Hier handelt es sich ebenfalls um ein von Talsedimenten bedecktes Karstwasservorkommen aus dem Dachstein. Im Unterschied zur Langfeldquelle kann hier ein tieferer Aquifer genutzt werden, der durch eine Seetonschicht vor Einflüssen aus dem seichten Grundwasser geschützt ist.

#### Haltepunkt 4:

### Quelle Waldbach-Ursprung der Trinkwasserversorgung von Hallstatt

Am Beispiel dieser mächtigen Karstquelle werden die für das Schongebiet Dachstein bedeutsamen Forschungen und Gefährdungspotenziale erläutert. Diese Quelle wird auch für ein Trinkwasser-Kraftwerk genutzt.

#### Haltepunkt 5:



# Tiefbrunnen in Obertraun zur Nutzung für eine Mineralwasser-Erzeugung

Aus über 200 m Tiefe wird dieses artesisch gespannte Karstgrundwasser in eine Mineralwasser-Abfüllanlage geleitet. An dieser Stelle kann die emotionelle Thematik des "Ausverkaufs von heimischem Trinkwasser" erörtert werden.

### Haltepunkt 6:



Karstgrundwasser in der Koppenbrüllerhöhle in Obertraun (je nach Witterung alternierend mit Haltepunkt 7)

Im Rahmen einer Wanderung durch diese Höhle wird eindrucksvoll die formende Kraft des Wassers in den Höhlensystemen der Dachstein-Kalke und Dolomite sichtbar.

### Haltepunkt 7:



### Trinkwasserversorgung und Abwasserentsorgung am Krippenstein in Obertraun

An diesem Beispiel wird die Ver- und Entsorgung der touristischen Infrastruktur am Dachstein-Plateau erläutert.

# Exkursion 2A (21.06.2017): Rutschungs- und Felssturzpotenzial am Plassen

Satisfied best Construction of the second se

Abb. 1.

Übersichtskarte mit Exkursionsroute und Haltepunkte. Roter Stern: Taxistand am Ortseingang von Hallstatt – Start der Exkursion.

Die Exkursion startet auf dem Parkplatz am Ortseingang von Hallstatt (roter Stern in der Übersichtskarte). Mit Kleinbussen werden die Exkursionsteilnehmer über das Echerntal, Waldbachstrub und Klausmoos zum Plassen hinaufgeführt (Fahrtzeit ca. 30 Minuten). Die etwa 3,5 Stunden dauernde Exkursion (Punkte 1–6) wird zu Fuß durchgeführt. SANDRA MELZNER (1)

Das Ziel der Exkursion ist es, die geologische und geotechnische Grunddisposition des Untersuchungsgebiets hinsichtlich des Auftretens unterschiedlicher gravitativer Massenbewegungstypen aufzuzeigen.

Folgende Themen werden im Zuge der Exkursion im Detail abgehandelt (vgl. auch MELZNER et al., 2017):

- Die geologischen, geotechnischen und geomorphologischen Dispositionsfaktoren;
- Tiefenstruktur und Versagensmechanismen im Randbereich der Deckplatte aus Plassenkalk;
- Räumlich-zeitlich variables Rutsch- und Felssturzpotenzial im Bereich der Südseite und Ostseite des Plassen und im Bereich der Roten Wand und des Solingerkogels;
- Rutschungspotenzial im Bereich der Ostseite des Plassen.

Die Exkursion (Abb. 1, 2) beginnt unterhalb der südexponierten Einhänge des Plassen (Haltepunkt 1) und führt dann über schmale Wanderwege und Stege über die Dammwiese zur Südseite der Lahngangkogel-Scholle (Haltepunkt 2)



Abb. 2. Das Plassen-Massiv mit Exkursionspunkten (gelb) und Lage der geoelektrischen Profile (rote Linien). ALS Daten, mit 1 m Auflösung, Quelle: Amt der Oberösterreichischen Landesregierung.

(1) Geologische Bundesanstalt, Neulinggasse 38, 1030 Wien. sandra.melzner@geologie.ac.at

über den Hohenfeldkogel (Haltepunkt 3), über einen Forstweg zur Nordostseite des Lahngangkogels (Haltepunkt 4) und zur Roten Wand (Haltepunkt 5). Nach dem letzten Exkursionspunkt (Haltepunkt 6) können die Exkursionsteilnehmer wahlweise mit dem Schrägaufzug nach Hallstatt hinabfahren oder mit der Exkursionsleitung zu Fuß vom Rudolfsturm in den Ortskern nach Hallstatt über einen einfach begehbaren Wanderweg absteigen.

# Haltepunkt 1: Fels- und Bergsturzpotenzial an der Südseite des Plassen

Lokalität: Unterhalb der südexponierten Einhänge des Plassen; geografische Koordinaten: 47°33′46′′N, 13°36′24′′O.

Die Exkursion beginnt unterhalb der südexponierten Einhänge des Plassen-Massivs in einem Aufschluss in mächtigem, größtenteils umgelagertem Moränenmaterial, welches zum Teil mit Schuttablagerungen vermischt ist. Die geologischen und geotechnischen Dispositionsfaktoren im Bereich der südexponierten Einhänge des Plassen lassen sich wie folgt zusammenfassen:

- Lithologie: der spröde Plassenkalk liegt direkt auf dem duktilen Haselgebirge auf (MANDL et al. 2012), wodurch es zu einer starken Auflockerung und Zerlegung im Randbereich der Deckplatte kommt.
- Trennflächengefüge: Eine deutliche Bankung fällt steil nach Süden bzw. SSE ein, im Bereich des Vorderen Plassen weist sie eine flexurartige Wölbung auf, mit einer Scherfläche normal zum Hang orientiert; fünf sehr markante Bruchflächen fallen mittelsteil bis steil nach Nordosten und Osten, zwei Bruchflächen mittelsteil nach Westen ein; entlang dieser Flächen findet eine Vertikalbewegung statt; hoher Auflockerungsgrad und Ausbildung von Zerrgräben.



• Verkarstungsprozesse und Hydrogeologie: vom Westen des Plassen in Richtung Osten zum Lahngangkogel nehmen die Lösungsverwitterungserscheinungen, besonders im Bereich von Zerrstrukturen und Störungen zu; Vernässungen und eine Vielzahl von kleinen Gerinnen im Bereich Dammwiese und Hohenfeldkogel.

Dominanter Versagensmechanismus ist möglicherweise ein sogenannter «flexural rock slump« (Abb. 3; KIEFFER, 1998) und translatorisches Abgleiten von Felsschollen. Eine Vielzahl von Felssturzereignissen in dem Zeitraum 2013–2016 (Abb. 4) im Bereich der Weitscharte gibt Hinweis über erhöhte Bewegungsraten (Fotomonitoring seitens der GBA seit 2016) des «rock slumps» in südlicher Richtung. Steinschlag ist überall möglich. Mittels der Simulation mit dem dreidimensionalen numerischen Code DAN3D (PREH, 2017) soll die potenzielle Reichweite größerer Felsstürze bzw. Bergstürze ermittelt werden. Dies ist in Hinblick der potenziellen (Re-)Aktivierung eines Erdstroms oder einer Rutschung in Richtung Echerntal von Relevanz.

# Haltepunkt 2: Rutschpotenzial an der Südseite des Plassen

Lokalität: Südseite der Lahngangkogel-Scholle; geografische Koordinaten: 47°33′50′′N, 13°36′56′′O.

- Lithologie: der spröde Plassenkalk liegt direkt auf dem duktilen Haselgebirge auf, wodurch es zu einer starken Auflockerung und Zerlegung im Randbereich der Deckplatte kommt.
- Trennflächengefüge: Keine deutliche Bankung erkennbar, durch eine Vielzahl von Störungen ist das Gebirge kleinklüftig zerlegt. Rückwärtige Abtrennung von Felstürmen und Schollen findet durch NNE–SSW, NE–SW, NW–SE und E–W streichende Trennflächenscharen statt; N–S streichende Klüfte/Störungen weisen hohe Öffnungsweiten auf und sind als Steinschlagrinnen ausgebildet.
- Hydrogeologie: Auffallend ist die rötliche Farbe in den Felswandbereichen, aufgrund von Oxidationserscheinungen bei Kluftwasseraustritten.

Das Hangversagen findet zum einen in Form eines aufrechten, translatorischen Abfahrens der turm- und tafelförmigen Großkluftkörper aus Plassenkalk am Rand der Deckplatte statt. Zum anderen scheint sich im Falle der größeren abgelösten Felsmasse (Abb. 5) ein Muschelbruch im Unterlager (Sockel) ausgebildet zu haben, da eine hangwärtige Rotationsbewegung der Großkluftkörper erkennbar ist.

Relative Bewegungsraten wurden über lange Zeiträume mittels Präzisionsmaßband gemessen (Moser et al., 2014; Moser & Rohn, 2015) (Abb. 5): Die Messstrecke 1 zeigt im Zeitraum 1994–1998

Die geologischen und geotechnischen Dispositionsfaktoren in diesem Bereich lassen sich wie folgt zusammenfassen:

Abb. 5. Relative Bewegungsmessung mittels Präzisionsmaßband (Punkte 1–5) und geoelektrische Tiefenerkundung (gelbe Linie) (Foto: Sandra Melzner, GBA – GEORIOS Datenbank).





eine sehr langsame Bewegungsrate von 0,4 mm/ Jahr, im Zeitraum 1994–2015 erhöhte sich die Bewegunsrate auf 1,5 mm/Jahr. Die Messstrecken 2 und 3 zeigen eine annährend lineare relative Divergenz von 12 mm/Jahr (1994–1998) und 14 mm/Jahr (1994–2014). Die Messwiederholung 2015 zeigt eine Erhöhung auf 18 mm/Jahr. Messstrecke 4 zeigt in beiden Messperioden relative Konvergenz. Dies weist auf eine Bewegung des rückwärtigen Gebirges in südöstlicher Richtung hin (MOSER et al., 2014; MOSER & ROHN, 2015).

In Abbildung 6 ist anhand eines repräsentativen Profils der Übergang von den Prozessen Driften zu Gleiten mittels Geoelektrik untersucht worden. Die Diskontinuitätsfläche der tiefgreifenden Gleitbewegung ist gut interpretierbar und liegt in einer Tiefe von maximal 20–30 m. Im unteren Bereich des Profils ist die Rotationsrutschung (Abb. 5) in Schutt und ausgelaugtem Haselgebirge deutlich erkennbar.

# Haltepunkt 3: Steinschlag-/Felssturzpotenzial und Erdströme an der Ostseite des Plassen

Lokalität: Hohenfeldkogel, geografische Koordinaten: 47°33′50′′N, 13°37′09′′O.

Die geologischen und geotechnischen Dispositionsfaktoren in diesem Bereich lassen sich wie folgt zusammenfassen:

- Lithologie: der spröde Plassenkalk liegt direkt auf dem duktilen Haselgebirge auf, wodurch es zu einer starken Auflockerung und Zerlegung im Randbereich der Deckplatte kommt.
- Trennflächengefüge: zwischen dem Plassengipfel und dem Lahngangkogel bilden vornehmlich vier Trennflächenscharen eine Grabenstruktur aus: eine mittelsteil, hangparallel nach Osten einfallende Scherkluft (~90/60), eine steil hangeinwärts nach Westen fallende Trennflächenschar (~280/85), eine steil nach Südosten (~135/85) und eine steil nach Nordosten (~45/80) einfallende Trennflächenschar. Die orthogonal zum Hang einfallenden Trennflächen haben aufgrund ihrer Raumstellung eine bedeutende Verringerung der Zugfestigkeit innerhalb der karbonatischen Plassen-Deckplatte zur Folge, weshalb diese Trennflächen sich im Bereich der Lahngangkogel-Scholle größtenteils zu Zerrspalten und Zerrgräben mit großen Öffnungsweiten entwickelt haben.

Das Trennflächengefüge im Bereich der Wasserberg-Scholle weist auf eine deutliche Rotationsbewegung der gesamten Scholle in nordöstliche Richtung hin. Die untere Hälfte der "Wasserberg-Scholle" (Abb. 7) ist durch einen Zerrgraben



#### Abb. 7.

Relative Einstufung (niedrig = gelb, mittel = orange, hoch = rot) des Gefahrenpotenzials durch Rutschungsprozesse im Bereich der Ostflanke des Plassen. Die gelbe Linie markiert die Lage des geoelektrischen Profils 1 (Abb. 8).

tiefgreifend zerschnitten und könnte gegebenenfalls in Zukunft eine Verbindung nach Norden bis zur Abrisskante AK 5 (Abb. 3. in MELZNER et al., 2017) darstellen. Die Frontseite der Scholle wird durch Steinschlag-/Felssturzprozesse desintegriert und das Material durch einen Erdstrom umgelagert/transportiert.

Die Analyse der berechneten absoluten Bewegungsraten im Bereich der südöstlichen Seite des Plassen zeigt (Abb. 1 in Otter et al., 2017), dass der Festpunkt (115-96) am Plassengipfel im Zeitraum 1961 bis 2015 signifikante Lageänderungen aufweist: 0,3 m in südöstliche bzw. südliche Richtung verschoben, mit einer vertikalen Abwärtsbewegung größer 0,6 m. Der Festpunkt am Lahngangkogel (42007-11) weist bedeutend größere Bewegungsraten von bis zu 1 m in nordöstliche Richtung auf, mit einer vertikalen Abwärtsbewegung größer 2 m für den Zeitraum 1955 bis 1978. Es ist auffällig, dass die Bewegungsrate von diesem Festpunkt durch eine vorwiegend horizontale Bewegung in nordöstliche Richtung geprägt ist. Eine Vermessung dieses Festpunktes im Jahr 2015 war nicht mehr möglich, da die Punktstabilisierung in der Zwischenzeit verloren ging. Von 1978 bis 1985 wurden Messungen an drei zusätzlichen Punkten (42007-98, 42007-97 und 42007-96) durchgeführt. Punkt 42007-98 zeigt für diesen Zeitraum eine Bewegung nach Südosten mit einem vertikalen Versatz von 0,3 m nach unten. Die anderen beiden Punkte (42007-97 und 42007-96) im Bereich der Wasserberg-Scholle bewegen sich nach Nordosten, mit einer vertikalen Abwärtsbewegung von 0,2 m.

# Haltepunkt 4: Rutschpotenzial an der Ostseite des Plassen

## Lokalität: Unterhalb "Eisgrube" (östlich Plassengipfel), geografische Koordinaten: 47°34′06′′N, 13°37′14′′O.

Die Abrisskante AK 6 (Abb. 3 in MELZNER et al., 2017) setzt sich nach Norden im Auslaugungshorizont des Haselgebirges fort und stellt die oberste Begrenzung eines großräumigen, instabilen Hangbereiches dar (Abb. 7, 8). Zentrales Element in diesem Bereich sind zwei bereits abgelöste Felsschollen, die zusammen mit der darüber lie-



#### Abb. 8.

Ingenieurgeologische Interpretation der Ergebnisse der Inversion entlang des geoelektrischen Profils 1. Modell des spezifischen elektrischen Widerstandes: blau = niedriger spezifischer elektrischer Widerstand, rot = hoher spezifischer elektrischer Widerstand (geoelektrische Auswertung: FA Geophysik, GBA).

genden Ostflanke des Plassen auf den darunterliegenden Bereich "schieben". Weitere disponierende Faktoren stellen die Auflast der mächtigen Sturzakkumulation und die geomorphologische Form des hervorspringenden "Sporns" im Bereich der Abrisskante (AK 7) eines vormaligen Rutschereignisses dar. Dies führt zur Ausbildung einer Vielzahl von Abrisskanten, Zerrspalten und Zerrgräben unterschiedlichster Entwicklungsstadien und zum "Absacken" ganzer Hangbereiche. Die denkbaren Versagensszenarien sind mit einer relativen Gefährdungsabstufung (niedrig-mittel-hoch) dargestellt (Abb. 7). Diese Szenarien sind durchaus realistisch, wenn man bedenkt, dass historische Ereignisse mit größeren Schutt-/Erdströmen den Bergbau in früherer Zeit lahmgelegt haben.

#### Haltepunkt 5: Felssturz-/Erdstrompotenzial im Bereich der Roten Wand und Solingerkogel

Graben zwischen Solingerkogel und Rote Wand, geografische Koordinaten: 47°33′42′′N, 13°37′41′′O.

Größere Felsstürze können durch undrainierte Belastung der feinklastischen weichen Gesteine Fließprozesse wie Erdströme im ausgelaugten Haselgebirge auslösen. So wurde im Jahr 1982



Abb. 9. Felssturzbereich an der Roten Wand und Felssturz- und Rutschpotenzial an der talwärtigen Seite des Solingerkogels (Fotos: Sandra Melzner, GBA – GEORIOS Datenbank).


Abb. 10.

Ein Felssturz hat durch undrainierte Belastung des feinklastischen Untergrundes im Ablagerungsbereich einen Erdstrom im Graben zwischen Steinbergkogel und Solingerkogel ausgelöst (Fotos: Sandra Melzner, GBA – GEORIOS Datenbank).

die Ortschaft Bad Goisern akut durch einen Erdstrom (8.000.000 m<sup>3</sup>) bedroht, der durch einen 30.000 m<sup>3</sup> Felssturz ausgelöst wurde (SCHÄFFER, 1983).

Im Bereich der Roten Wand ereignete sich im Mai 1978 ein Felssturz, der die Forststraße verschüttet hat. Im Jahr 1981 haben sich an fünf Tagen (Mai bis Oktober) weitere Felsstürze in diesem Bereich ereignet. Im Bereich des Lahngangkogels ereignete sich im Zeitraum Oktober 1984 bis Mai 1985 (Abb. 3) ein sehr großes, mehrphasiges Felssturzereignis in die Eisgrube. Interessanterweise löste sich kurze Zeit später ein weiterer, sehr großer Felssturz an der Roten Wand, was einen Rückschluss auf eine damals erhöhte Aktivität des gesamten Hangbereiches geben könnte. Im Zerreißungsfeld der Roten Wand wurden relative maximale Bewegungsraten von bis zu 33 mm/Jahr festgestellt (MOSER et al., 2014; MOSER & ROHN, 2015).

Im Jahr 2011 ereignete sich zwischen dem Solingerkogel und Steinbergkogel ein Felssturz (Abb. 9, 10), der einen Erdstrom ausgelöst hat. Vermutlich hatte zuvor eine Rutschung den Felswandfuß weggerissen und der Felssturz wurde dadurch ausgelöst. Der Erdstrom hat damals lediglich den Forstweg (Abb. 9) erreicht. In diesem Bereich besteht weiteres Felssturzpotenzial.

Felssturz- und Rutschpotenzial besteht im Bereich der talseitigen Flanke des Solingerkogels oberhalb der Forststraße bzw. auch im nördlichen Abschnitt der Roten Wand. Ob diese Felsstürze Erdströme auslösen könnten, die Gebäude und Infrastrukturen im Salzberg Hochtal und in Hallstatt potenziell bedrohen würden, ist schwer zu sagen.

# Haltepunkt 6: Panorama auf Plassen und Hallstatt/Hallstätter See

Lokalität: Rudolfsturm, geografische Koordinaten: 47°33′41′′N, 13°38′31′′O.

Aussicht auf das gesamte Hochtal mit Plassen-Ostseite, auf Hallstatt und den Hallstätter See.

# Dank

Herzlichen Dank für die fruchtbare Zusammenarbeit an die Kolleginnen und Kollegen Michael Lotter, David Ottowitz, Stefan Pfeiler, Stefanie Gruber, Birgit Jochum, Ingrid Schattauer, Robert Supper, Klaus Motschka, Martin Heidovitsch, Edmund Winkler, Gerhard W. Mandl, Ingeborg Wimmer-Frey (alle GBA); Jürgen Otter und Erich Imrek (BEV), Michael Moser und Joachim Rohn (Universität Erlangen), Alexander Preh (TU Wien) und Gerhard Schäffer (ehemaliger Mitarbeiter der GBA). Des Weiteren sei der Wildbach-und Lawinenverbauung (Wolfgang Gasperl, Michael Schiffer und Stefan Janu), den Österreichischen Bundesforsten (Norbert Meier) und dem Museum Hallstatt (Hans-Jörgen Urstöger und Karl Wirobal) für die Unterstützung des Projektes gedankt. Ein ganz besonders herzlicher Dank gilt Klaus Reisenauer, Stefan Janu sowie den Bewohnerinnen und Bewohnern von Hallstatt für die interessanten Gespräche über das Untersuchungsgebiet.

#### Literatur

- KIEFFER, D.S. (1998): Rock slumping: A Compound Failure Mode of Jointed Hard Rock Slopes. – PhD thesis, 408 p., San Francisco.
- MANDL, G.W., HUSEN VAN, D. & LOBITZER, H. (2012): Erläuterungen zur Geologischen Karte der Republik Österreich 1:50.000, Blatt 96 Bad Ischl. – 215 S., Geologische Bundesanstalt, Wien.
- MELZNER, S., MOSER, M., OTTOWITZ, D., OTTER, J., LOTTER, M., MOTSCHKA, K., IMREK, E., WIMMER-FREY, I., ROHN, J. & PREH, A. (2017): Multidisziplinäre Grundlagenerhebung als Basis für die Implementierung eines Monitoringsystems am Plassen. – Tagungsband zur Arbeitstagung der Geologischen Bundesanstalt 2017, 140–146, Wien.
- MOSER, M. & ROHN, J. (2015): Zur Kinematik Rotes Kögele-Steinbergkogel-Dammwiese. Auswertung der Präzisionsmaßbandstrecken 2014–2015. – Unveröffentlichter Bericht, Erlangen.

- MOSER, M., ROHN, J. & LOTTER, M. (2014): Zur Kinematik Rotes Kögele-Steinbergkogel-Dammwiese. Auswertung der Präzisionsmaßbandstrecken 2007–2014. – Unveröffentlichter Bericht, Erlangen.
- OTTER, J., IMREK, E. & MELZNER, S. (2017): Geodätische Grundlagenvermessung als Werkzeug in der Naturgefahrenanalyse. – Tagungsband zur Arbeitstagung der Geologischen Bundesanstalt 2017, 147–152, Wien.
- PREH, A. (2017): Analysis and prediction of the runout of rock slides and rock avalanches. – Tagungsband zur Arbeitstagung der Geologischen Bundesanstalt 2017, 257–258, Wien.
- SCHÄFFER, G. (1983): Die aktuelle Massenbewegung Stambach-Zwerchwand/Bad Goisern. – Tagungsband der Arbeitstagung der Geologischen Bundesanstalt 1983, Gmunden, Salzkammergut, O.Ö., 26. bis 30. September 1983, 28–29, Wien.

# Exkursion 2B (21.06.2017): Archäologie im Hallstätter Salzberg



HANS RESCHREITER (1), DAVID OTTOWITZ (2), ALEXANDER RÖMER (2) & BIRGIT JOCHUM (2)

Diese Exkursion (Abb. 1) führt in das Hallstätter Salzbergtal und gibt Einblicke in den prähistorischen Salzbergbau. An einigen Beispielen wird gezeigt, wie Massenbewegungen diesen Betrieb mehrfach unterbrochen haben. Neben den untertägigen Fundstellen werden auch die Methoden vorgestellt, mit denen die Massenbewegungen, welche um 1000 und 650 v. Chr. erfolgten, untersucht werden.

# Haltepunkt 1:

# Talstation der Standseilbahn auf den Salzberg

Anhand der Schaustelle und von Exponaten wird die Salzproduktion in römischer Zeit in den ersten fünf Jahrhunderten nach Christi Geburt erläutert.

# Haltepunkt 2: Aussichtsplattform am Rudolfsturm

Es wird ein Überblick über die 7.000-jährige Industrie- und Kulturlandschaft rund um den Hallstätter Salzberg geboten und es werden die Methoden zur Erforschung der Mensch-Umwelt-Interaktion kurz dargestellt.

(1) Naturhistorisches Museum Wien, Prähistorische Abteilung, Burgring 7, 1010 Wien. hans.reschreiter@nhm-wien.ac.at

Abb. 1. Exkursionsroute.

<sup>(2)</sup> Geologische Bundesanstalt, Neulinggasse 38, 1030 Wien.

# Haltepunkt 3:

# Schaugrab entlang des Salzbergweges

Im Schaugrab der Salzwelten werden der soziale Status und die Arbeitsbedingungen der prähistorischen Bergleute vermittelt. Um 600 v. Chr. waren die Hallstätter die reichste Gemeinschaft Mitteleuropas.

# Haltepunkt 4:

# Vorhaupt des Kaiserin Christina Stollens

Die Spuren der Massenbewegung um 650 v. Chr., welche den riesigen Bergbau der Hallstattzeit unterbrochen hat, werden erläutert.

# Haltepunkt 5:

# Schauraum der prähistorischen Führung

Die Arbeitstechniken und Geräte der prähistorischen Bergleute werden kurz vorgestellt und vorgeführt.

# Haltepunkt 6:

# Bronzezeitliche Fundstelle im Bereich des Christian-von-Tusch-Werkes/Kaiserin Christina Horizont

In der Fundstelle werden die meterhohen, perfekt konservierten Halden des Bergbaus um 1200–1000 v. Chr. gezeigt und die Spuren der Verschüttung dieses Bergbaus um 1000 v. Chr. zu sehen sein.

# Haltepunkt 7: Kaiserin Christina Stollen

Aufgrund der vielversprechenden Ergebnisse der Geoelektrik (Oberflächenmessung) im Bereich des Einsturztrichters wurde in diesem Bereich eine geoelektrische Stollenmessung umgesetzt, um den Bereich zwischen den beiden Stollen (Kaiserin Christina und Kaiser Josef Stollen) hinsichtlich der spezifischen elektrischen Widerstandsverteilung bestmöglich aufzulösen und damit möglicherweise den Hinweis auf weitere verschüttete, prähistorische Bergwerksbereiche zu liefern. Klar zu betonen ist, dass die speziellen Bedingungen (starke Widerstandskontraste und diverse Einbauten) eine große Herausforderung für die Methodik darstellen und diese erste Messkampagne auch dazu diente herauszufinden, ob die Methode in dieser Umgebung und für die Fragestellung einsetzbar ist. Um dies zu verifizieren ist es natürlich essenziell, dass im Bereich der Messstrecke bereits bekannte prähistorische Bergwerksbereiche vorhanden sind, die natürlich in den Messergebnissen entsprechend sichtbar sein sollten. Im Großen und Ganzen zeigt das Ergebnis einige interessante Widerstandsstrukturen, die zum Teil mit den vorhandenen Informationen erklärbar sind, manche Bereiche werfen hingegen noch ein paar Fragen auf. Auf jeden Fall konnten wichtige Erkenntnisse bezüglich dieses speziellen Einsatzes der geoelektrischen Messmethode gewonnen werden, die in einer weiteren, bereits für 2017 geplanten, ähnlichen Messkampagne einfließen werden.

# Haltepunkt 8:

# Pinge (Oberfläche) beim Kaiser Maximilian Stollen

Im Zuge einiger geoelektrischer Messkampagnen im Hallstätter Hochtal wurde in diesem Bereich auch der bereits bekannte Einsturztrichter mit einem geoelektrischen Messprofil abgedeckt. Das Ziel war festzustellen, ob bzw. wie gut sich der Einsturztrichter im Ergebnis der geoelektrischen Messung widerspiegelt, d.h. wie gut sich die unterschiedlichen Untergrundbereiche vom spezifischen elektrischen Widerstand voneinander unterscheiden. Das Ergebnis zeigt den Bereich des Einsturztrichters als deutliche Anomalie mit höherem spezifischen elektrischen Widerstand. Dieser Kontrast kommt dadurch zustande, dass Material von der Oberfläche (Hangrutschungsmaterial, heterogene Zusammensetzung) in Bereiche des ausgelaugten Haselgebirges vorgedrungen ist.

# Exkursion 2C (21.06.2017): Dachstein-Mammuthöhle, Karstquelle "Kessel" und Thermalquellen "Warmes Wasser" am Hallstätter See

LUKAS PLAN (1), GERHARD SCHUBERT (2), DANIEL ELSTER (2) & RUDOLF BERKA (2)



Abb. 1. Exkursionsroute.

# Haltepunkt 1: Dachstein-Mammuthöhle

### (LUKAS PLAN)

Die Mammuthöhle erstreckt sich bei einer Länge von 67 km, 1.207 m Höhenunterschied, ausschließlich unterhalb des glazial stark überprägten Dachstein-Nordrandes unter den Karen der Anger- und Schönbergalm sowie unter dem dazwischenliegenden Sporn des Mittagskogels (BEHM et al., 2016; Abb. 2). Sie reicht nur randlich unter die Altfläche des Krippensteins (2.108 m). Bislang wurden keine weiter in den Plateaubereich hineinführenden Teile gefunden.

Ab dem Jahr 1910 erfolgte die Erforschung vom Westeingang auf der Angeralm aus, erst 1914

wurde der Osteingang auf der Schönbergalpe erreicht. Mehrere früher eigenständige Höhlen wurden mit dem System der Mammuthöhle zusammengeschlossen.

Wie viele anderen Höhlensysteme der Nördlichen Kalkalpen präsentiert sich die Mammuthöhle als komplexe Anordnung von älteren, unter phreatischen (vollständige Wassererfüllung) Bedingungen entstandenen Gängen und Labyrinthen sowie jüngeren vadosen (teilweise wassergefüllt) Canyon-Schachtsystemen. Abgesehen davon, dass beide Typen möglicherweise an denselben Initialfugen angelegt sind, schneiden die vadosen Teile die epiphreatisch entstandenen eher zufällig an. Oftmals wird der vorhandene phreatisch geprägte Teil für eine gewisse Strecke benutzt, was zur Ausbildung von Schlüssellochprofilen führt.

Fast alle (epi)phreatischen Teile finden sich zwischen 1.250 und 1.550 m Seehöhe. Im Detail zeigen Höhlenkarren und andere Formen, dass die Ausbildung im Schwankungsbereich des Karstwasserspiegels, also in der epiphreatischen Zone, bei Flutereignissen erfolgte. Die Teile sind oft an die mit 30° nach Nordosten einfallenden Schichten des gebankten Dachsteinkalks gebunden. Großräumige Gänge werden immer wieder von kleinräumigen Labyrinthen flankiert, wodurch sich ein äußert verzweigtes dreidimensionales Gangnetz ergibt. Besonders unter dem Mittagskogel sind die Gänge fast horizontal. Sehr beeindruckend ist hier der Riesentunnel Paläotraun mit rund 100 m<sup>2</sup> Querschnittsfläche (Abb. 3), eine Hauptattraktion des leicht begehbaren Schauteiles.

Die jüngeren, zum Teil wasseraktiven vadosen Teile sind als Serien von Canyons und Schächten ausgebildet, wobei der Hallstätterschacht mit 98 m der tiefste Abstieg ist. Komplexe, oft an bedeutende Störungszonen gebundene Canyonsysteme erreichen bis zu 200 m Raumhöhe (Riesenkluft). Viele der sich in der Tiefe vereinigenden Canyons werden von Gerinnen durchflossen. Die

<sup>(1)</sup> Naturhistorisches Museum Wien, Burgring 7, 1010 Wien. *lukas.plan@nhm-wien.ac.at* 

<sup>(2)</sup> Geologische Bundesanstalt, Neulinggasse 38, 1030 Wien.



Mammuthöhle weist zwei aktive verzweigte Entwässerungssysteme auf. Das erste kann von der Weißbierhöhle bzw. dem Däumelkogelschacht via Etagencanyon bis zu einem Siphon in der Unterwelt verfolgt werden. Östlich davon liegt die Abfolge Unfallschacht–Riesenkluft–Wasserschacht. Von einem Siphon in dem erst in jüngster Zeit erforschten Unfallschacht (ВЕНМ, 2011) kann ein



#### Abb. 2.

Höhlen im zentralen Dachsteinplateau. BG: Brandgrabenhöhlen, BW: Brausewindhöhle, DM: Dachstein-Mammuthöhle, DR: Dachstein-Rieseneishöhle, DS: Däumelkogelsandhöhle, EC: Eiskristallcanyon, GH: Gowling Hale, HB: Hirschbrunn, HH: Hirlatzhöhle, HL: Happyloch, HS: Hinkelsteinhöhle, JS: Jägerschacht, JU: Juliaschacht, KE: Kessel, KH: Konglomerathöhle im Hirzkar, KM: Klettermausschacht, MH: Mörkhöhle, OF: Oberfeldhöhle, OH: Orkanhöhle, PS: Pendelschacht I-IV, SB: Schönberghöhle, SH: Südwandhöhle, SW: Schmelzwasserhöhle, VC: Voodoo-Canyon, WA: Westliche Almberg-Eishöhle, WU: Waldbachursprung-Höhle. Aus BEHM et al. (2016). (Höhlendaten: VH Hallstatt-Obertraun, VH Obersteier, LVHK Oberösterreich, LVHK Wien und NÖ, FUND; Höhenmodell: Amt der Steiermärkischen Landesregierung, Amt der Oberösterreichischen Landesregierung; Situation: OpenStreetMap; Zeichnung: Lukas Plan & Harald Bauer).

Abb. 3. Der mittlere Abschnitt der rund 180 m langen Paläotraun in der Dachstein-Mammuthöhle.



#### Abb. 4.

Durch langsames Trocknen des "Hellen Höhlentons" entstehen meist in Sechsecken angeordnete große Trockenrisse (Lehmpolygone). Hier die Megapolygonhalle im Heli-Schöner-Gang, dem westlichsten Teil der Dachstein-Mammuthöhle.

Bach über mehr als 1 km Höhenunterschied und 1,9 km Horizontalerstreckung in meist großräumigen Canyons und Schächten bis zum tiefsten Punkt im Wasserschacht (621 m Seehöhe) verfolgt werden. Dieser liegt rund 40 m über der vermuteten Resurgenz, der Quelle unterhalb der Seilbahn-Talstation, bzw. rund 110 m über dem Vorfluter, der Traun. Die Schüttung der Bäche schwankt stark, wobei das Minimum im Unterlauf bei wenigen Litern pro Sekunde liegt und das Maximum wahrscheinlich 100 l/s übersteigt. Daneben gibt es viele kleinere Gerinne, die nur auf relativ kurzen Strecken beobachtbar sind. Im Gegensatz zur benachbarten Hirlatzhöhle sind in der Mammuthöhle keine tief liegenden phreatischen bzw. episodisch gefluteten Entwässerungsysteme bekannt.

An Sedimenten findet sich neben an Ort und Stelle gebildetem Blockwerk reichlich von außen

in die Höhle eingeschwemmtes Material von unterschiedlicher Korngröße (Ton bis Steine) und Zusammensetzung. Nach dem Erscheinungsbild können an die zehn Sedimenttypen bzw. -generationen unterschieden werden, darunter solche, die Augensteinschotter und -sande enthalten. Viele Höhlenteile zeigen Spuren einstiger Sedimentverfüllung in Form von Sedimentresten im Deckenbereich oder in der Ausprägung paragenetischer Canyons oder Deckenkarren. Hier wurde das Sediment in einer späteren Phase wieder ausgewaschen. Etliche Gänge enden mit Sedimentverschlüssen.

Der für viele Teile der Mammuthöhle charakteristische, aber auch aus anderen Höhlen der Kalkalpen (z.B. Hirlatzhöhle) bekannte "Helle Höhlenton" (SEEMANN, 1973) repräsentiert die jüngsten Sedimentgenerationen (Abb. 4). Dieses oft im mm-Maßstab geschichtete Sediment wurde in stehendem Wasser abgelagert, das sich vermutlich in der Höhle zurückgestaut hat, während die Gletscher der letzten Eiszeit die Quellen in den Tälern blockierten.

Die Mammuthöhle ist wie viele andere alpine Höhlen arm an Speläothemen. Aktive bzw. nach-



eiszeitliche Sinter sind sehr selten. In etlichen Höhlenteilen trifft man auf Gipskristalle in Form feiner Nadeln oder massiver Kristalle und auf Hydromagnesit sowie häufig auftretende Eisenhydroxide bzw. Bohnerze.

Anhand der Mammuthöhle werden seit über 100 Jahren Überlegungen und Theorien zur Höhlenentstehung recht kontroversiell diskutiert (PLAN & HERRMANN, 2010). Das jüngste Modell zur Entstehung (PLAN & XAVER, 2010), das auf umfangreichen Kartierungen und Untersuchungen von Kleinformen und Gangquerschnitten im zentralen Teil der Höhle beruht, rekonstruiert die Entstehung der Mammuthöhle im Groben wie folgt: Fließfacetten und Sedimentstrukturen zeigen eine generelle Paläo-Fließrichtung von Osten nach Westen. Dies trifft auch für die Rieseneishöhle auf der Ostseite der Schönbergalm sowie auf die noch weiter östlich gelegene Petrefaktenhöhle zu. Die Fließgeschwindigkeiten in den großräumigen epiphreatischen Teilen erreichten bis zu 1 m/s über längere Zeiträume. Einen sehr wichtigen Faktor bei der Ausbildung der meisten Gangquerschnitte bildeten Sedimente, die zu paragenetischen Deckenformen führten. Weiters bedingte Sedimentbedeckung an der Gangsohle eine einseitige Erweiterung der Profile nach oben, was in vielen Teilen gut zu beobachten ist (Abb. 5). Die daraus resultierenden Profile sind deutlich größer als die ehemaligen Fließquerschnitte und können nicht zur Ermittlung des Durchflusses herangezogen werden. Nur im Bereich des Canyons nahe dem Westeingang kann davon ausgegangen werden, dass während der Bildung der Fließfacetten der gesamte Querschnitt sedimentfrei war. Hier ergibt sich ein Durchfluss von rund 15 m<sup>3</sup>/s bei Flutereignissen. Da es aber auf diesem Niveau großräumige Parallelstrecken gibt, kann davon ausgegangen werden, dass die Gesamtmenge, welche die Höhle durchströmte, ein Mehrfaches betrug. Das ehemalige Einzugsgebiet der Wässer

#### Abb. 5.

Schematische Entstehung des paragenetischen Profils der Paläotraun: (1) Am Schnittpunkt einer Schichtfuge und einer Störung entsteht ein elliptisches Profil. (2) Durch Sedimente am Boden wird in weiterer Folge das Profil nur nach oben erweitert. (3) Weiterentwicklung des Profils nach oben. (4) Erosion des Sedimentes führt zur Freilegung eines Großteils des Profils. Zumindest im Endstadium geschah dies durch vadose Wässer von geringer Schüttung. Verändert nach PLAN & XAVER (2010).

wird im Bereich südlich der heutigen Nördlichen Kalkalpen vermutet.

Um Anhaltspunkte für ein Mindestalter der Höhle zu bekommen, wurde an vier Proben von quarzreichen Augensteinsedimenten eine Datierung des Einschwemmalters vorgenommen. Proben aus dem Derflingerlabyrinth und der Paläotraun lieferten Ergebnisse von jeweils rund 5 Millionen Jahren (persönliche Mitteilung: Philipp Häuselmann). Da die Augensteine an der Basis der epiphreatischen Gänge zum Teil über den Fließfacetten lagerten, kann davon ausgegangen werden, dass sie in einem frühen Stadium der Gangentwicklung abgelagert wurden und somit das Mindestalter des Ganges widerspiegeln.

### Haltepunkt 2: Karstquelle "Kessel"

(GERHARD SCHUBERT & LUKAS PLAN)

Der Kessel ist eine der spektakulären Karstquellen im Norden des Dachsteingebirges. Er liegt etwa 2,2 km südsüdöstlich von Hallstatt, 30 m südlich der Hallstättersee Landesstraße (L547). Nicht weit von ihm entfernt (440 m nach Nordwesten, gleich unterhalb der selben Landesstraße) befindet sich der Hirschbrunn (eine Quellmessstelle des Hydrographischen Dienstes). Der Kessel ist nur bei sehr starkem Karstwasserandrang aktiv.

Nach LEUTNER (1983) ist der Kessel ein ovales, etwa 7 m langes und 3 m breites Becken (im Dachsteinkalk), das halbseitig von einer etwa 11 m hohen Felswand umgeben wird. Seeseitig ist in 5 m Tiefe die klare Wasserfläche zu erblicken. Nur bei



Abb. 6.

Längsschnitte von Hirschbrunn und Kessel (aus MEYBERG & RINNE, 1998, umgezeichnet).

starker Schneeschmelze oder bei langandauernden Regenfällen kommt es im Karstaquifer zum Rückstau und dann fungiert der Kessel als Überlauf. Wenn sich dann die braunen Wassermassen über den Rand des Kessels ergießen und das ansonsten trockene Bachbett erfüllen, sagt die Bevölkerung der Umgebung "Der Kessel geht" (LEUTNER, 1983).

Im Kessel wurde erstmals im Jahr 1960 ein Tauchgang unternommen. 2003 wurde der 460 m lange und maximal 60 m tiefe Siphon erstmals vollständig durchtaucht und eine Verbindung mit der 103,5 km langen Hirlatzhöhle nachgewiesen (Abb. 6; SEEBACHER, 2016).

# Haltepunkt 3: Thermalwasservorkommen "Warmes Wasser" am Hallstätter See

(GERHARD SCHUBERT, DANIEL ELSTER & RUDOLF BERKA)

Das Thermalwasservorkommen "Warmes Wasser" befindet sich am Westufer des Hallstätter Sees zwischen Gosaumühle und Steeg. Es wird in SCHAUBERGER (1979: 44–49) ausführlich beschrieben. Dieser führt an, dass es sich um eine rund 500 m lange Uferstrecke am See handelt, die "*im Winter auch bei strenger Kälte bis zu 4 m lange und 2 m breite eisfreie Stellen*" aufweist. Das Thermalwasservorkommen liegt am als Gosauhals bezeichneten, südöstlichen Ausläufer des Ramsaugebirges. Der Gosauhals besteht im Liegendteil aus Wettersteindolomit, der überlagert wird von einem schmalen, stärker bewachsenen Band aus Nordalpinen Raibler Schichten, gefolgt von Hauptdolomit, dolomitisiertem Dachsteinkalk und Dachsteinkalk. Das ganze Schichtpaket fällt flach nach Süden ein. Schauberger nimmt an, dass der Aufstieg des Thermalwassers an eine der SW–NE streichenden, steil nach Südost einfallenden Abschiebungen gebunden ist (Abb. 7). Es tritt dann in der Folge über dem Schuttmantel aus.

SCHAUBERGER (1979) enthält auch eine geschichtliche Zusammenfassung: Ersten historischen Quellen zufolge wurde das Thermalwasser ursprünglich durch eine 28,6 m lange Stollenfassung gefasst und in einer Badkammer genutzt. Dies muss aber bereits vor dem Jahr 1511 bzw. 1573 stattgefunden haben, da in diesen Jahren die Seeklause in Steeg erbaut bzw. erhöht wurde und sich ab diesem Zeitpunkt der Quellaustritt unter dem Niveau des Seespiegels befunden haben muss. Am 2. November 1957 kam es zum Anschlag eines Suchstollens am Fuße der Straßenstützmauer oberhalb der Hauptaustrittsstelle im See, nämlich 0,75 m über dem Seespiegel bei Normalwasserstand. Beim Stollenvortrieb fand man Reste des alten Badstollens, nicht aber einen Ther-



#### Legende

- 58 Dachsteinkalk gebankt (Megalodontenfazies; Norium bis ? Rhätium)
- 60 Dachsteinkalk dolomitisiert, mit Loferit ("Plattenkalk"; ? Norium)
- 61 Hauptdolomit (? Karnium bis Norium)
- 62 Raibler Schichten (Sandsteine und Tonmergel) mit Pflanzenhäcksel; Karnium)
- 63 Wettersteindolomit (Anisium bis ? Cordevolium)

# Thermalquelle

Abb. 7. (oben)

Lage des Thermalwasservorkommens "Warmes Wasser" am Hallstätter See und Geologie (SCHÄFFER, 1982).

#### Abb. 8.

Im Vordergrund befindet sich der im Jänner 1969 errichtete und mit Betonringen ausgekleidete Schachtbrunnen, dahinter ist das Mundloch des Suchstollens zu sehen. Brunnen und Mundloch befinden sich in einer Nische unter der Hallstättersee Landesstraße. Es sei darauf hingewiesen, dass der Stollen einsturzgefährdet ist. Bei seiner Errichtung wurde nur im Winter gearbeitet, wann das durchörtere Lockermaterial durchgefroren war.



malwasserzutritt. Am 28. März 1970 wurden die Grabarbeiten bei einer Gesamtstollenlänge von 161,20 m eingestellt. Im Zuge der Arbeiten hatte man aber im Jänner 1969 im Bereich des Mundlochs einen 2 m tiefen Senkbrunnen mit 1,5 m Durchmesser abgeteuft und mit Betonringen ausgebaut, um Temperatur- und Schüttungsmessungen sowie Beprobungen durchführen zu können. Beim im Winter abgesenkten Seespiegel wurde am 29. Jänner 1969 im Brunnen ein Pumpversuch durchgeführt. SCHAUBERGER (1979) konnte dabei am Schachtboden eine Temperatur von 22,5° C bestimmen. Die Schüttung der im Brunnen zu sehenden beiden Thermalwasserzutritte schätzte er auf einige Liter pro Sekunde. Eine genaue Messung war nicht möglich, da beim Pumpversuch von der Seeseite auch Seewasser zudrang.

Bei der Exkursion wird dieser sich direkt vor dem Mundloch des Suchstollens befindliche Senkbrunnen besichtigt (Abb. 8). Am 2. Juli 2013 wurden hier von den Autoren hydrochemische und isotopenhydrologische Proben gezogen. Der geringe Tritiumgehalt (Tab. 1) zeigt auf, dass es sich beim beprobten Wasser vorwiegend um Wasser handelt, dass vor den Atombombenversuchen versickert sein muss. Der Schwefel-34-Wert entspricht dem Sulfat einer Reichenhaller Rauwacke, also aus dem Liegenden des Wettersteindolomits (Tab. 2).

"Warmes Wasser", Hallstättersee			
Datum der Probenahme	2.7.2013		
Temperatur (°C)	18,9		
El. Leitfähigkeit [µS/cm]	696		
pH-Wert	8,06		
Calcium [mg/l]	g/l] 39,2		
Magnesium [mg/l]	11		
Strontium [mg/l]	0,46		
Natrium [mg/l]	83		
Kalium [mg/l]	2		
Hydrogenkarbonat [mg/l]	106,43		
Chlorid [mg/l]	127,78		
Fluorid [mg/l]	0,26		
Sulfat	53		
δ²Η [‰]	-88,4		
<sup>3</sup> H [TU]	2,2		
δ <sup>18</sup> Ο [‰]	-12,96		
δ <sup>34</sup> S [‰ CDT]	23,2		

Tab. 1.

Hydrochemie und Isotopenhydrologie des "Warmen Wassers" nach ELSTER et al. (2016: 188, 192).

#### Literatur

- BEHM, M. (2011): Verbindung des Unfallschachts mit der Dachstein-Mammuthöhle (1547/9). – Die Höhle, **62**/1–4, 58–62, Wien.
- BEHM, M., PLAN, L., SEEBACHER, R. & BUCHEGGER, G. (2016): Dachstein. – In: SPÖTL, C., PLAN, L. & CHRISTIAN, E. (Ed.): Höhlen und Karst in Österreich, 569–588, Linz (OÖ-Landesmuseum).
- CLAYPOOL, G.E., HOLSER, W.T., KAPLAN, I.R., SAKAI, H. & ZAK, I. (1980): The Age Curves of Sulfur and Oxygen Isotopes in Marine Sulfate and Their Mutual Interpretation. – Chemical Geology, 28, 199–260, Amsterdam.
- ELSTER, D., GOLDBRUNNER, J., WESSELY, G., NIEDERBACHER, P., SCHUBERT, G., BERKA, R., PHILIPPITSCH, R. & HÖRHAN, T. (2016): Erläuterungen zur geologischen Themenkarte Thermalwässer in Österreich 1:500.000. – 296 S., Wien.
- GÖTZINGER, M.A., LEIN, R. & PAK, E. (2001): Geologie, Mineralogie und Schwefelisotopie ostalpiner "Keuper"-Gipse: Vorbericht und Diskussion neuer Daten. – Mitteilungen der Österreichischen Mineralogischen Gesellschaft, **146**, 95–96, Wien.
- LEUTNER, N. (1983): Kessel und Hirschbrunn-Quellbezirk am Nordfuß des Dachsteinstockes. – Die Höhle, **34**, 100–105, Wien.
- MEYBERG, M. & RINNE, B. (1998): Tauchen in der Hirlatzhöhle. – In: BUCHEGGER, G. & GREGER, W.: Die Hirlatzhöhle im Dachstein. – Wissenschaftliche Beihefte zur Zeitschrift "Die Höhle", **52**, 223–240, Wien.
- PLAN, L. & HERRMANN, E. (2010): Paläotraun? Der Wissenschaftsdisput um die Entstehung der Dachstein-Mammuthöhle. – Die Höhle, 61, 3–17, Wien.

Schwefel-34 in marine Sulfaten global nach CLAYPOOL et al. (1980)		Schwefel-34 in marinen Sulfaten der Nördlichen Kalkalpen (Auswahl)	
Globale Gliederung	δ 34S (‰ CDT)	Formation	δ 34S (‰ CDT)
Mitteltrias bis später Jura	+16 ± 1,5	Nordalpine Raibler Schichten und Opponitzer Schichten	15,85 ± 0,40*
Mitteltrias	+15 bis +22	Reichenhaller Rauwacke	+23,3, +24,2**
Mittlere bis obere Untertrias	+24 bis +28		
Untere und mittlere Untertrias	+ 10 bis +13		
Oberperm	10,5 ± 1,0	Oberpermisches Haselgebirge	hauptsächlich +9,8 bis +13,8***

Tab. 2.

Globale Schwefel-34-Werte mariner Sulfate nach CLAYPOOL et al. (1980) und eine Auswahl vergleichbarer Messwerte zu Salinaren der nördlichen Kalkalpen (\*GÖTZINGER et al., 2001, \*\*SPÖTL, 1988, \*\*\*SPÖTL & PAK, 1996).

- PLAN, L. & XAVER, A. (2010): Geomorphologische Untersuchung und genetische Interpretation der Dachstein-Mammuthöhle (Österreich). – Die Höhle, **61**, 18–38, Wien.
- SCHAUBERGER, O. (1979): Die Mineral- und Thermalquellen im Bereich des ostalpinen Salinars zwischen Salzach und Enns. – Schriftenreihe des Oberösterreichischen Musealvereins, **9**, 120 S., Linz.
- SCHÄFFER, G. (1982): Geologische Karte der Republik Österreich 1:50.000, Blatt 96 Bad Ischl. – Geologische Bundesanstalt, Wien.
- SEEBACHER, R. (2016): Höhlentauchen. In: SPÖTL, C., PLAN, L. & CHRISTIAN, E. (Ed.): Höhlen und Karst in Österreich, 427–438, Linz (OÖ-Landesmuseum).

- SEEMANN, R. (1973): Die Genese der Pyrite der Karstgebiete der Nördlichen Kalkalpen. – Dissertation, Universität Wien, 185 S., Wien.
- SPÖTL, C. (1988): Zur Altersstellung permoskythischer Gipse im Raum des östlichen Karwendelgebirges (Tirol). – Geologisch Paläontologische Mitteilungen Innsbruck, **14**, 197–212, Innsbruck.
- SPÖTL, C. & PAK, E. (1996): A strontium and sulfur isotopic study of Permo-Triassic evaporites in the Northern Calcareous Alps, Austria. – Chemical Geology, **131**, 219–234, Amsterdam.

# Exkursion 3 (22.06.2017): Entlang des geplanten Gschliefgraben-Geotrails

JOHANNES THOMAS WEIDINGER (1)



# Der Gschliefgraben-Geotrail

Die bei der Arbeitstagung der Geologischen Bundesanstalt 2017 gewählte Route folgt einem vor der Umsetzung stehenden Themenweg mit 15 Schautafeln (Abb. 1), der von den Österreichischen Bundesforsten angeregt, von der Traunsee-Touristik und der Stadtgemeinde Gmunden befürwortet sowie vom Autor in Zusammenarbeit mit der Wildbach- und Lawinenverbauung (WLV) konzipiert wurde. Daher wurde ein Teil des folgenden Textes der Schautafeln nicht nur bewusst populär (möglichst ohne Fachausdrücke) formuliert, sondern auch in Zusammenarbeit mit Wolfgang Gasperl (WLV, Sektion OÖ) erstellt.

Der Weg beginnt bei der Wegkreuzung Radmoos, die in ca. 30 Minuten Gehzeit von der Bergstation der Grünbergseilbahn zu erreichen ist, folgt der Ahornleiten-Forststraße am Nordfuß des Traunsteins/Zirlerberges und endet beim Gasthofs Hois'n Wirt am Traunsee-Ostufer. Ideal für seine Begehung ist die Kombination mit dem Berg-See-Erlebnisticket, das nicht nur die Seilbahnfahrt auf den Grünberg, sondern auch die Schifffahrt über den Traunsee zurück in die Stadt Gmunden ermöglicht.

#### Haltepunkt 1: Tektonisches Fenster

Eingebettet zwischen dem 995 m hohen Grünberg und den schroffen Felsen des 1.691 m hohen Traunsteins liegt am Ostufer des Traunsees eine ca. 3 km lange und 1 km breite Mulde – der sogenannte Gschliefgraben (Abb. 2). Die darin anzu-

<sup>(1)</sup> Erkudok-Institut in den Kammerhof Museen Gmunden, Kammerhofgasse 8, 4810 Gmunden. johannes.weidinger@gmunden.ooe.gv.at

Zirlerberg (1240m)



Abb. 2. Blick aus Westen auf den Gschliefgraben und seine geologische Position (a) mit dem Verlauf des Geotrails vom Radmoos über die Ahornleitn-Forststraße zum Gasthof Hois'n Wirt (b; WEIDINGER, 2014: Abb. 1A).

treffenden, vorwiegend weichen Mergel und Tonsteine gelangten durch Jahrmillionen andauernde Bewegungen im Zuge der Alpenentstehung in ihre Position. Diese Gesteine sind ein Teil der Helvetischen Zone, die große Teile der Westalpen aufbaut und in den Ostalpen, wie hier, nur "fensterartig" zu Tage tritt. Der Gschliefgraben-Geotrail führt durch diese geologisch einzigartige Entstehungsgeschichte mit all ihren Vor- und Nachteilen für die hier lebenden Menschen (WEIDINGER, 2009).



Abb. 3.

a) Gustav Adolf Koch (WEIDINGER, 2009: Abb. 7), b) sein geologisch tektonisches N–S-Profil (aus KOCH, 1892: Fig. 3 bzw. WEIDINGER, 2009: Abb. 2c) sowie c) jenes von Siegmund Prey aus dem Jahr 1983 (verändert nach PREY, 1983: Abb. 3 bzw. WEIDINGER, 2014: Abb. 2) durch den Gschliefgraben. Mit dem Verlauf der gestrichelten Linien im Profil von

#### Richung Grünberg Dürnnberg Dürnnberg Gründer abers Frätere Dürnnberg Gründer abers Frätere Dürnnberg Gründer abers Frätere Dürnberg Gründer abers Frätere Gründer abers Frätere Dürnberg Dürnberg Gründer abers Frätere Dürnberg Dürnberg Gründer abers Frätere Dürnberg Dürnb

Hochgschirr (981m) Radmoos (875m)

# Haltepunkt 2: Gschliefgraben-Geologen

Die besondere Geologie des Gschliefgrabens beschrieb erstmals im Jahr 1832 der Franzose Ami Boué (1794–1881). Er erkannte, dass zwischen den Flysch-Gesteinen des Grünberges aus der Oberkreide und den Kalken des Traunsteins aus der Trias- und Jura-Zeit junge "Tertiär"-Gesteine liegen, die nicht in die normale stratigrafische Abfolge passen. Auch Gustav Adolf Koch (1846–1921; Abb. 3a, b) erkannte bereits zehn Jahre vor dem Einzug der Deckenlehre in den Alpen eine Vielzahl von tektonischen Besonderheiten im Gschliefgraben (Косн, 1892). Jahrzehnte später gelang es dem Mitarbeiter der Geologischen Bundesanstalt, Siegmund Prey (1912–1992), den Gschliefgraben als tektonisches Fenster des Ultrahelvetikums (PREY, 1983) zu deuten (Abb. 3c).

PREY (1983) soll die aufgewölbte und durch Erosion freigelegte Lagerung der weichen tonig-mergeligen Gesteine und deren Verfaltung innerhalb des tektonischen Fensters zwischen Flyschzone im Norden und Kalkalpin im Süden verdeutlicht werden (aus WEIDINGER, 2014).









#### Abb. 4.

a) Geologische Skizze des Gschliefgrabens wie er sich seit der Großrutschung 2007–2008 und deren Sanierung darstellt. Eingezeichnet sind auch mögliche Fossilfundpunkte (verändert nach WEIDINGER & WEBER, 2009: Abb. 1, WEIDINGER, 2014: Abb. 1B).

b) Die Rote Kirche (Aquarell von Siegmund Prey 1947) ist die bekannteste, fossilreiche Paläozän-Eozän-Felsrippe im Gschliefgraben (WEIDINGER, 2009: Abb. 3).
c) Der Ammonit *Menuites deccanensis* in den K-Hof/ Kammerhofmuseen Gmunden (Weidinger, 2014: Abb. 12).

#### Haltepunkt 3: Fossilien und Mineralien

Unterschiedlich alte und unter völlig verschiedenen Ablagerungsbedingungen entstandene Gesteine mit mehr oder weniger großen Fossilien können im Gschliefgraben durch die komplexe Tektonik oft räumlich sehr nahe nebeneinander liegen. In fast allen Gesteinen kann man fündig werden (Abb. 4a). Allerdings findet man aufgrund der Rutschfreudigkeit des Materials häufig einen durchmischten Gesteinsbrei vor, in dem die Reste versteinerter Lebewesen nicht immer leicht zu entdecken sind. Anstehende Felsrippen, wie die bekannte Rote Kirche oder verwandte Aufschlüsse, sind eher selten anzutreffen. Das macht das Sammeln zu einer kniffligen Herausforderung (WEIDINGER, 2014; Abb. 4b, c).

### Haltepunkt 4: Erdströme und Muren

Steil stehende Schichtung sowie die Verwitterung der Mergel-, Sand- und Tonsteine unter Wassereinfluss zu einer breiigen Masse bedingen im Gschlief etliche gletscherähnlich zu Tal fließende Erdströme. Chroniken berichten daher von einer unglaublichen, fast erschreckenden Geschichte des Gschlief. Denn schon sein Name weist auf Erdrutsche hin (schliefen = rutschen).

> Abb. 5. Vermurung am Gschliefgraben-Schwemmkegel 1987 (Archiv Kammerhofmuseen Gmunden).



Auch von großen Katastrophen ist immer wieder die Rede, von Häusern und Wirtschaftsgrund, die in regelmäßigen Abständen von 80–100 Jahren in den Traunsee "geschoben" wurden (WEIDINGER, 2017). Zudem stellen die Erdströme viel Lockermaterial bereit, das im Zuge von Starkniederschlägen spontan zu Muren (Abb. 5) mobilisiert werden kann (GASPERL, 2009).

# Haltepunkt 5: Geotechniker im Gschliefgraben

Ende des 19. Jahrhunderts verfasste Gustav Adolf Koch im Auftrag der "Forsttechnischen Abteilung für Wildbachverbauung" das erste geologische Gutachten zu den Gschliefgraben-Rutschungen. Auf dessen Basis legte der Sektionschef der Wildbachverbauung (WLV) in Linz, Adalbert Pokorny (1853–1912), einen Plan zur Drainage des gesamten Gebietes vor, der damals aber nicht umgesetzt wurde (Abb. 6). In den 1970er und 1980er Jahren wurde der Graben und der Schwemmkegel des Gschliefgrabens von der WLV weiter beobachtet. Von 2004 bis 2007 führten Wissenschaftler der Montanuniversität Leoben im Auftrag der Österreichischen Akademie der Wissenschaften geophysikalische Untersuchungen durch (MIL-LAHN et al., 2008).

Abb. 6.

Adalbert Pokornys Plan zur Gschliefgraben-Drainage aus dem Jahr 1884 (aus WEIDINGER, 2009: Abb. 8).



#### Haltepunkt 6: Die Großrutschung 2007–2008

Nachdem es im Frühjahr 2006 zu einem initialen Rutschungsereignis vom Nordfuß des Traunsteins kam (Abb. 7a), war im November 2007 die "morphodynamische Uhr" des Rutschgebietes abermals abgelaufen. Nahezu vier Millionen Kubikmeter Material gerieten mit Geschwindigkeiten von ca. 5 m pro Tag in Bewegung (Abb. 7b), reaktivierten durch zunehmende Wasserinfiltration den vermeintlich konsolidierten, rechten Bereich des Erdstrom-Muren- und Schwemmfächers weiter talwärts bis in ca. 20 m Tiefe und gefährdeten über eine Dauer von acht Monaten zwölf bewohnte Objekte. Evakuierung der Bewohner und



Abb. 7. Initiales Rutschungsereignis im Frühjahr 2006 (a). Abgleiten und Auffahren der Massen entlang von Scherflächen im November 2007 (b).

umfangreiche Sofortmaßnamen waren die Folge, die letztendlich zum Stillstand der Massen und zur Sanierung des Gebietes führten (GASPERL, 2009).

# Haltepunkt 7: Ingenieurbiologische Maßnahmen

Im obersten Gschliefgraben wurden mittels ingenieurbiologischer Methoden (Abb. 8a), Schwergewichtsdrainagen sowie Holz-Pilotierungen (Abb. 8b) die nachgleitenden Erdstrommassen zurückgehalten und das Nachsacken der Hänge verhindert (GASPERL, 2009). Konsolidierungsstaffelungen in Lärchenholz mit Weiden-Faschinen sollen die Grabeneinhänge stabilisieren und Eintiefungsprozesse verhindern. Erosionshemmende Oberflächenausgestaltung, Begrünung sowie Aufforstung mit Schwarzerlen und anderen Laubgehölzen sollen nachhaltig schutzwirksame, mittelund niederwaldartige Mischbestände entstehen lassen und Feinmaterial im oberen Einzugsgebiet





Abb. 8. Offenhalten des Hauptgerinnes mit Pilotierungen (a), Krainerwände mit Weiden (b).

zurückhalten. Der ehemalige Gschliefbach wurde als Steinschale und Notabfluss bei Starkniederschlägen ausgebaut.

# Haltepunkt 8: Foraminiferen-Fundstelle

Dieses Gestein aus der "Tertiär"-Zeit (Eozän, ca. 50 Mio. Jahre) besteht fast zur Gänze aus Foraminiferen – einzellige Lebewesen mit gekammerten Kalkgehäusen, die es seit dem Erdaltertum (Kambrium, seit ca. 560 Mio. Jahren) gibt. Sie können einen Durchmesser von bis zu 20 cm erreichen und zählen damit zu den größten einzelligen Organismen, die es überhaupt auf der Erde gibt. Aufgrund ihres weltweiten Vorkommens, ihrer hohen Reproduktionsrate und der guten Fossilisierbarkeit der Schale haben Foraminiferen in der Paläontologie große Bedeutung. Sie gehören aber auch in heutigen Riffen neben Algen und Korallen zu den wichtigsten Kalkproduzenten auf unserem Planeten (WEIDINGER, 2014).

#### Haltepunkt 9:

## Die Abspundung des Liedringbaches

Die geomorphologische Auswertung der Laserscan-Befliegung zeigte eine intensive Durchnässung des aktiven Rutschbereiches, die insbesondere vom aus Nordosten einmündenden Lidringgraben ausging. Es musste deshalb für diesen ein neues und aufnahmefähiges Bachbett in



Abb. 9. a) Abspundung des Lidringgrabens gegen den Zentralbereich der Rutschung samt Ableitung der Oberflächenwässer des gleichnamigen Baches. b) Errichtung und Funktion des neuen Liedringbachbettes (Foto: Wolfgang Gasperl).



seiner ursprünglichen Tiefenlinie errichtet werden (Abb. 9a). Erst dann konnte die 1922 geschaffene Beileitung des Liedringbaches in den Gschliefbach wieder aufgelöst werden. Durch die schließlich erfolgte Abspundung auch der tieferen Wasser führenden Schichten des Lidringgrabens gegenüber dem Gschliefgraben (Abb. 9b) wurde erstmals ein deutlich messbarer Bremseffekt in der sich vorwärtsbewegenden Masse erzielt (GASPERL, 2009).

#### Haltepunkt 10: Messungen – Monitoring

Zu Beginn und während der Maßnahmensetzung lag ein Schwergewicht der Tätigkeit auf den verschiedenen Erkundungsmethoden, da jede Maßnahme laufend am Ergebnis der Messungen





Abb. 10. Installation des Ketteninklinometers mittels Helikopter (a). Anlage der fixen Geoelektrik-Messstrecke (b). Beide Fotos: Wolfgang Gasperl.

# Haltepunkt 11: Drainagegräben

Durch den Einbau von tiefen, mit Kies gefüllten Gräben wurde das im Schuttstrom gebundene Wasser durch Verdunstung reduziert und eine "Verkrustung" der Gelände-Oberfläche erzielt. Diese führte dazu, dass die tiefer liegenden, weichplastischen Tone, deren Scherfestigkeit sehr gering ist, durch den "steifen Deckel" stabilisiert wurden. Zudem soll die Anlage dieser Gräben im Fischgrätenmuster zusätzlichen Widerstand beim Schub nach unten bieten (Abb. 11). Der größte

> Abb. 11. Das Auffüllen der Drainagegräben erfolgte mit Kalkgrobschlag (a). Die Drainagegräben wurden so angelegt, dass sie gleichzeitig als Baustellenstraßen dienten (b; WEIDINGER, 2009: Abb. 12). Beide Fotos: Wolfgang Gasperl.

evaluiert und gegebenenfalls angepasst werden musste. Später wurde der Gschliefgraben im Rahmen des EU-Projektes SafeLand als Typusbereich ausgewählt. Gemeinsam mit der Geologischen Bundesanstalt (GBA) in Wien wurden in diesem Rahmen ein Ketteninklinometer (Abb. 10a) sowie Messstrecken für permanente Geoelektrikmessungen (Abb. 10b) angelegt. Die Echtzeit-Auswertung dieser Daten und die Entwicklung eines Programmes zum Zwecke der Frühwarnung sind derzeit gerade im Gange (SUPPER & BAROŇ, 2010).





dieser Gräben – ca. 8 m tief und 13 m breit – ist an der schmalsten Stelle des Rutschgebietes installiert und soll verhindern, dass durchfeuchtetes Material von der Bergseite nicht auf den konsolidierten Bereich des Schuttkegels übergreift (GASPERL, 2009).

### Haltepunkt 12: Entwässerungsbrunnen

Aus bodenmechanischer Sicht und durch Laborversuche belegt, war nur im Vorfeld der Gleitmasse, nicht aber im bereits bewegten Teil eine Stabilisierung möglich. Diese Überlegungen führten dazu, dass der Massenbewegung vorauseilend der gespannte Hangwasser-Zustand durch Brunnenbohrungen abgebaut und so für die talwärts strömenden Massen ein "Stützfuß" geschaffen wurde (Abb. 12a). Dieser "Stützfuß" zwang die Schuttstrom-Massen zum "Aufreiten", wodurch Energie umgewandelt werden konnte und eine Reduktion der Bewegungen eintrat (Abb. 12b; POISEL et al., 2011).



# Haltepunkt 13: Was wäre gewesen, hätte man keine Maßnahmen ergriffen?

Das Verständnis um den Mechanismus der Bewegung, die Vielzahl an gewonnen Daten und vor allem die in diesem Lichte neu betrachteten Zeugnisse und Dokumente aus vergangenen Jahrhunderten durch Fachleute erlauben uns recht gut, eine modellhafte Vorstellung zu entwerfen, wie es denn heute in der Ortschaft "Unter'm Stein", zwischen den Gasthöfen "Ramsau" und "Hois'n Wirt", aussehen würde, hätte man keine baulichen und technischen Maßnahmen zur Stabilisierung der Großrutschung aus dem Gschliefgraben 2007–2008 ergriffen. Da es nicht ganz einfach ist, sich dieses Szenario als Laie vor Augen zu führen, sollen Bilder eine vage Vorstellung davon geben (WEIDINGER, 2011, 2017).

### Haltepunkt 14: Ein "Blick" in den Traunsee

Auch Untersuchungen im Traunsee belegen historische Zeugnisse großer Katastrophen. So wurde in Hinblick auf ein zukunftsweisendes Monitoring im Jahr 2013 der subaquatische Ausläufer des Gschliefgraben-Fächers unter Einsatz von Fächerecholot und Sedimentecholot hydrografisch vermessen (Abb. 13a; vgl. auch WEIDINGER, 2017). Diese Daten – mit Eindringtiefen in den Seeboden von bis zu 15 m – unterstützen geologische, geomorphologische und geotechnische Forschungen mit Informationen über den oberen Schichtauf-



Abb. 12. Durch die Reihen von Entwässerungsbrunnen vor der Stirn des Erdstromes (a) wurde der hydraulische Druck abgebaut. So konnte die Gleitbewegung der Erdschollen mit ausstreichenden Scherflächen und Bewegungsraten von noch ca. 3 dm/Tag in eine Kriechbewegung von weniger als 1 cm/ Tag übergeführt werden (b). Beide Fotos: Wolfgang Gasperl.





bau und ermöglichen eine wesentlich genauere Interpretation jener Prozesse (Abb. 13b), die zur Sedimentation bzw. zur Umlagerung von Sedimenten bis in größere Seetiefen geführt haben (HEINE et al., 2016).

#### Abb. 13.

Aus Fächerecholotmessungen generiertes digitales Geländemodell des subaquatischen Ausläufers des Gschliefgraben-Fächers (a). Mögliche Prozesse der Massenbewegungen vom Gschliefgrabendelta und im Kalkalpin angrenzenden Bereichen in den Traunsee (b, aus HEINE et al., 2016).

### Haltepunkt 15: Leben in der "Roten Zone"

Seit Beginn der 1970er Jahre gibt es in Österreich sogenannte Gefahrenzonenpläne (GZP). Diese GZPs sind flächenhafte Gutachten über die Gefährdung durch Wildbäche, Lawinen und Erosion, zu denen auch Massenbewegungen wie jene des Gschliefgrabens zählen. Diese werden von der WLV erstellt und dienen als Basis für die Planung von Schutzmaßnahmen, zur Unterstützung der Raumplanung und Baubehörde und vor allem auch der allgemeinen Sicherheit. Bemessungsgrundlage ist ein 150-jähriges Katastrophenereignis. Im Jahr 1987 wurde so der gesamte Schwemmkegel des Gschliefgrabens in die "Rote Gefahrenzone" gestellt (Abb. 14). Hier ist die Gefährdung so groß, dass ständige Besiedelung nicht oder nur mit unverhältnismäßig hohem Aufwand möglich ist (GASPERL, 2009).



#### Abb. 14.

Die "Rote Gefahrenzone" umfasst jenen Bereich am Traunsee-Ostufer, der einschließlich des Gasthofes Ramsau im Norden über den Gasthof Hois'n Wirt bis zum Kaltenbach im Süden liegt. Hier dürfen Bestände der Bebauung, die bereits vor 1987 existierten, erneuert werden. Neue Gebäude zu errichten, ist nicht erlaubt. Abbildung aus WEIDINGER (2009: Abb. 9, zur Verfügung gestellt von WLV, Sektion Linz).

#### Literatur

- GASPERL, W. (2009): Katastrophenbewältigung und Maßnahmen im Gschliefgraben (Gmunden/Oberösterreich). – In: WEIDINGER, J.T. & KÖCK, G.: ÖAW-Gschliefgraben-Symposium, Proceedings vom 1. April 2009, 45–58, Wien.
- HEINE, E., WEIDINGER, J.T. & GÖTZ, J. (2016): Geologisch-geomorphologische Untersuchungen des subaquatischen Bereichs von Erdströmen in den Traunsee (OÖ) unter Anwendung von Fächerecholot und parametrischem Sedimentecholot. – Vermessung & Geoinformation (VGI), Sonderausgabe "Gewässer", Heft **1**/2016, 25–37, Wien.
- Косн, G.A. (1892): Geologisches Gutachten über die projektierte Verbauung des Gschliefgrabens bei Gmunden behufs der Hintanhaltung von den bedrohlichen Rutschungen. – Unveröffentlichtes Gutachten, Universität für Bodenkultur, 50 S., Wien.
- MILLAHN, K., GRASSL, H., HYDEN, W., KERSCHNER, F., MORAWETZ, R., NIESNER, E., SCHMID, C., WEBER, F. & WEIDINGER, J.T. (2008): Ergebnisse geophysikalischer Untersuchung im Gschliefgraben bei Gmunden/OÖ im Hinblick auf die Massenbewegungen. – Jahrbuch der Geologischen Bundesanstalt, **148**/1, 117–132, Wien.
- POISEL, R., HOFMANN, R., PREH, A., SAUSGRUBER, T. & SCHIFFER, M. (2011): Lessons learned from Gschliefgraben mudslide (Austria). – Geomechanics and Tunneling, 4/5, 445–453, London.

- PREY, S. (1983): Das Ultrahelvetikum-Fenster des Gschliefgrabens südsüdöstlich von Gmunden (Oberösterreich). – Jahrbuch der Geologischen Bundesanstalt, **126**/1, 95–127, Wien.
- SUPPER, R. & BAROŇ, I. (Eds.) (2010): Landslide Monitoring Technologies & Early Warning Systems. – Berichte der Geologischen Bundesanstalt, 82, 68 S., Wien.
- WEIDINGER, J.T. (2009): Das Gschliefgraben-Rutschgebiet am Traunsee-Ostufer (Gmunden/OÖ) – ein Jahrtausende altes Spannungsfeld zwischen Mensch und Natur. – Jahrbuch der Geologischen Bundesanstalt, **149**/1, 195–206, Wien.
- WEIDINGER, J.T. (2011): "Was wäre gewesen, wenn …?" Vier Jahre nach der Jahrhundertrutschung aus dem Gschliefgraben bei Gmunden. – Mach 2-Zeitschrift für Technikgeschichte, **02**/2012, 63–69, Linz.
- WEIDINGER, J.T. (2014): Die "Fossilien- und Mineralien-Sammlung Ferdinand Estermann" aus dem Gschliefgraben-Rutschgebiet am Traunsee-Ostufer – Eine Dauerausstellung in den Kammerhof Museen Gmunden und ihre geologisch-tektonische Herkunft. – Denisia, **32**, 93–112, Linz.
- WEIDINGER, J.T. (2017): Chronik eines "vorhergesagten" Erdstroms – das 2007-08 Gschliefgraben Ereignis, Oberösterreich. – Tagungsband zur Arbeitstagung der Geologischen Bundesanstalt 2017, 163–172, Wien.
- WEIDINGER, J.T. & WEBER, F. (2009): Ergebnisse und geologische Interpretation der seismischen Messungen am Schuttkegel der Gschliefgraben-Erdströme bei Gmunden (OÖ) im Jahre 2004 – In: WEIDINGER, J.T. & KÖCK, G. (Hrsg.) (2010): ÖAW-Gschliefgraben-Symposium2009–Proceedings, 13–32, Wien (Verlag der Österreichischen Akademie der Wissenschaften).

DOI: https://dx.doi.org/10.1553/gde2010







www.geologie.ac.at